

Title	トドマツ樹幹の凍裂の形態について
Author(s)	石田, 茂雄
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 17(2), 473-512
Issue Date	1955-12
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/20723
Туре	bulletin (article)
File Information	17(2)_P473-512.pdf



トドマツ樹幹の凍裂の形態について

石田茂雄

MORPHOLOGICAL STUDY ON FROST CRACK OF TODO-FIR TRUNK

By

Shigeo Ishida

目 次

Ι	緒 言	
п	トドマツ凍裂木の外部形態的特徴	
Ш	凍裂幹材部の形態的性状	
	Ⅲ・1 凍裂幹材部の水分分布	
	Ⅲ•1•1 凍裂木の含水率の測定	
	Ⅲ・1・2 凍裂の癒着と含水率	
	III・2 凍裂幹材部の内部割れ	
	Ⅲ・2・1 含有水分の凍結狀態における內部割れ 485	
	Ⅲ•2•2 常温における内部割れ	
	Ⅲ・3 霜腫れの性狀	
	Ⅲ・3・1 凍裂の初期 489	
	Ⅲ・3・2 典型的な霜腫れの形成	
	Ⅲ・3・3 霜腫れのつつみこみ 490	
	Ⅲ・3・4 幹軸方向における霜腫れの形態の變化 490	
	Ⅲ•3•5 異 常 形 492	
IV	樹幹表面における凍裂類似の欠点 ······ 492	
	Ⅳ·1 樹 皮 裂	
	₩・2 外 傷	
	Ⅳ・3 昆虫の食害	
v	要 結	
	文 献	
	Summary 495	
	図版	

筆者は北海道大學農學部森林利用學 助教授

I緒 言

凍裂の研究には,(1)凍裂は如何にして発生するか,(2)如何なる程度に発生している か,(3)如何なる形態的性狀を呈しているかなどの諸問題が含まれている。(2)と(3)は森林 撫育ならびに木材利用に直接関連する部分であつて,前報¹⁾では,北海道の森林を対象と して,(2)の問題を取り扱つた。一方,(3)に関する研究と(1)に関する研究との間には密接 なつながりがある。けだし,凍裂樹幹の形態的性狀を詳細に檢討することによつて,凍裂 **すること**の機構を明らかにする有力な手がかりが得られるものと考えられるからである。 本報告には,このような観点から,北海道産主要樹種の中で,最もいちじるしく凍裂の害 をうけているトドマツを対象として行つた(3)の問題に関する研究結果を報告する。

すなわち,まず,トドマツ凍裂木の一般形態的特徴,特にその外部形態について述べ, 次いで,凍裂樹幹の含有水分,樹幹内部の割目,傷痍組織など凍裂樹幹の形態的異常性に ついての観察結果を述べる。最後に,ある種の凍裂の外観に似た外観を呈することのある 樹幹の欠点の2~3について述べることにする。

凍裂の傷痍組織の病理解剖学的事項については、別の機会に報告したい。

この研究は,北大教授大沢正之博士の御指導のもとに進められたものである。ここに 記して厚く謝意を表する次第である。

Ⅱ トドマツ凍裂木の外部形態的特徴

凍裂木とは,前報¹⁾ に定義したように,その樹幹のどこかに凍裂^{1)*} (完全に癒着した ものをも含めて)のある立木のことである。このような凍裂木は,樹幹上に,その凍裂と 関連ずけられるような他の何らかの形態的特徴を持つているであろうか。一般的に言つて, 北海道の天然林産のトドマツ,特にその中・老齢木には多種類の欠点が発生しており⁴⁾,そ の樹幹表面,枝条,樹冠などの様相ははなはだしく複雑である。このことは,凍裂木,非凍 裂木の別を問わない。しかし,若干の外面的欠点は,見掛上一部の凍裂との間に位置的関 連を持つことが観察された。すなわち,基幹部以外に発生する凍裂と,その樹幹の心折れ,

^{*} 前報には、凍裂の現象を、嚴寒時に樹幹内部の水分が凍り、樹皮より材部に向つて割目を生ずる現 象と規定した。これは、大体、從來おこなわれてきた多くの林學者の定義にしたがつたものではあ るが、前報に報告した調査内容と関連した、いくぶん限定的なものであつた。 たとえば、「樹皮よ り材部に…」の"樹皮"という表現などがそれである(もつとも、Hess-Beck: Forstschutz (1930) には… von der Rinde aus … と表現している。 しかし、他の多くの文献は Stammperipherie という語ないしは意味の表現を用いている)。 "凍裂"という語の内容は、一應、概念的にはつきり できるのであるが、實際に、木材の中のどの割目が凍裂であるかということになれば、いろいろの 問題がでてくる。さらに、この名辭が、その發生機構的な規定内容を持つ概念を表わすものである にかかわらず、その機構そのものが明確でないため、いつそうめんどうになる。これらの問題につ いては別の報告で述べることにし、この報告では、一應、前報同様に凍裂を規定しておく。

分叉,太い枯枝,樹幹の材部を露出する孔狀部などとの間には関連が認められた。今,前報 の,北海道内四地区における凍裂の発生狀況調査の資料から,関係数値を抽出してみると,

基幹部の凍裂については全くことなつた事情がみられるのが普通である。たとえば、 Fig. 8 の凍裂木は、地上高10 m 附近までの樹幹表面には欠点らしいものは全く認められ ず、かつ、無節であつた。基幹部に凍裂のある場合には、此のようなことがすくなくない。 このような基幹部の凍裂はむしろその立木の根の形態に関連するものと考えられる。たと えば、Fig.9 及び Fig. 10 は凍裂が地上0.5 m から 1.5 m にわたつて存在した一凍裂木(胸 高直径は約15 cm)の根にみられた孔狀部の写真である。小径被圧の凍裂木について、ほか に、もう1 例、ほぼ同様な狀態を観察した。中・大径木についても類似の現象がみられる ものと考えられる。

これらの、樹幹上ならびに根の欠点は、何れも、多かれすくなかれ材部を露出してい る点で共通しており、後述するように、その樹幹材部に、いわゆる水喰材を形成する原因 をなすものである。顕著な水喰材の存在と、その樹幹に凍裂の発生することとの相関は統 計的にかなり密であるのみならず、水喰材は凍裂の発生する原因の1つになるものと考え られる。この意味では上述の樹幹の諸欠点のみならず、樹幹の水喰材形成の原因となりう る欠点の存在する立木は、凍裂がなくても、凍裂発生の内因を持つ可能性の高い立木と考 えるべきであろう。

III 凍裂幹材部の形態的性狀

III・1 凍裂幹材部の水分分布

III・1・1 凍裂木の含水率の測定結果 ここでは、おもに、凍裂木ないしは凍裂幹材部の水分分布について測定した結果を報告する。

はじめに、トドマツの凍裂木および非凍裂木樹幹の水分分布の大体について比較測定 した結果について述べる。

この測定の供試木は,旭川営林局上川営林署管内で採取した。これらの供試木は何れ も沢沿いの平地に生育し,林分の優勢木であつた。その概要は次のとおりである。

供試木番号	胸高直徑 (cm)	樹 高 (m)	樹 (年)	凍裂の長さ (cm)	備考
· No.1 (凍 裂 木)	31	21	195	215	凍裂は樹幹の北東側.二 又木
No. 2 (凍 裂 木)	29	21	185	315	凍裂は南東側
No. 3 (非凍裂木)	28	20	165		-
No. 4 (非凍裂木)	29	22	180		地上10m附近に輕度の 心材腐朽あり

これらの供試木を伐倒し、各異の地上高から、それぞれ十数枚ずつの円板(厚さ5cm) を切り取り、それらの円板から Fig.1 に示すような試験片を切り取つて含水率を測定し た。すなわち、髄を通り、互いに直交する4つの半径(a, b, c, d. 凍裂円板では、aの半径が 凍裂に平行)について髄から辺材に向つて、

* 距離1cm 毎に順次1×1×5cm³の小片を とり, 測定に供した。

測定結果を Table 1 に示す。

Table 1 に示した供試木 No. 1 の凍裂 は地表附近から始まり, 外見上は地上 2.3 mの高さで終つている。いわゆる根水喰い は 0.3 m の断面ですでに 100 cm² に達し, また, その断面における 凍裂の幅は 3.1





mm (気温 -5° C において)を示した。凍裂の幅は地上 0.6 m で最大になり、それより地上 高を増すにつれて減少した。 一方、0.6 m 附近まで髄を中心にほぼ円形的分布をなした水 喰材は、それより地上高が増すにつれて、円板上におけるその総面積を減少し、かつ分散 的傾向を現わし、次第に枝水喰いの性狀を呈するようになつた。凍裂木 No.2 についても ほぼ同じことが云える。No.1、No.2 のような樹幹内水分分布は、基幹部のみに凍裂のあ る立木においては最も多く出現する狀態と考えられる。供試木 No.3 はかなり著しい水喰 材を含んでおり、かつそれが、地上高4 m 附近まではほぼ樹幹の中軸部に集中する傾向が あり、水分分布の点のみからは上述2本の凍裂木と何ら本質的にことなるところがない。 ただ、この場合の観察結果によれば、この供試木にみられた水喰材にはあまり大きな割目 がなく、かつ含まれている割目も氷で満たされることが比較的にすくなかつたと云える。

Height from	Radius							Dist	anc	e fr	om 1	oith	(cn	n)		۰.					of crack perature J (mm)
ground		1×	0	9	4	-	c	7	0	0	10	11	10	10	7.4	15	10	117	10	10	dth tem -5.(
(777)		1.	2	ð	4	Ð	0	1	0	9	10	11	12	13	14	19	10	17	18	19	Wi in of
(in)		000	100	000	000	100	107	100	10				10	10	40	100	170	1.00			0.10
0.3	a	200	199	229	223	186	165	100	49	45	42	39	46	42	48	130	173	163			3.10
	a		180	127	185	158	162	151	37	21	31	21	32	33	145	173	176	180			
	C L		191	180	150	218	147	92	63 66	60	40	20	32	43	180	175	170	170	101	109	
05	a	000	100	100	100	410	171	140	00 190	40	42	41 95	21	23	01 96	41	01 110	172	101	193	0.05
0.5	ส น	422	400	170	100	194	20	190	199	00 91	41	อย อะ	40 อะ	00 104	00 175	40	119	109	198		9.99
	d		228 695	102	102	120	00 E9	40 50	- 39 - 09	31 40	41	40 40	30 50	-184	240	190	160	100			
	C d		400 990	199	190	10 194	94 110	00	· 00	40 50	40	40 95	- 00 - 00	94 96	449 57	100	109	104			
0.0	u	99F	449 900	145	150	194	110	50	00	50	50 11	90 90	00 94	00 49	96	149	100	170			2 00
0.9	a	400	200	140	190	120	00 29	54	40 55	00 94	44	00 57	04 00	40	100	100	100	110			3.00
	U A		114	140	109	100	000	194	190	04 167	1/9	169	00	110	100	790 190	20	40	100	109	
	c d		114 917	140	154	111	119	104	100	79	140	202	94 19	00 97	-10 -20	149	49	120	100	109	
19	u	102	411 992	194	140	59	110	59	66	50	46	22	40 110	909 909	176	171	110	100			1 75
1.0	a b	130	160	30 116	117	169	157	1/0	100	70	68	/0	- <u>5</u> 9	400	18/	101	196				1.10
	U c		150	990	122	100	110	193	001	57	<u>11</u>	43	00 905	100	180	101	100				
	d d		150	106	107	78	115 95	90	00	5/	99	59	200 54	133	33	160	176	196			
10	u a	175	130	100	80	08	70	90 66	58	57	61	- 99 - 98	27	199	190	193	110	100			1.05
1.5	h	110	170	110	164	125	- 00	67	76	01 01	74	20	65	51	185	102	178				1.00
	c		165	115	136	120	125	170	100	63	79	ബ	182	102	191	104	110				
	đ		145	105	70	55	63	62	62	50	65	47	47	66	186	211	196				
21	a	127	153	126	96	157	92	87	89	64	65	72	147	188	165	165	200				1.00
4.1	b	~~,	92	77	63	66	64	53	56	48	53	36	56	201	190	197					1.00
	c		84	113	137	150	138	101	87	56	52	49	202	210	195						
	d		84	78	79	143	121	168	159	149	105	67	65	44	137	176	196				
2.3	a	39	39	69	73	71	157	88	130	156	103	58	42	119	186	196	182	1			0.00
	b		. 51	49	50	61	69	62	86	66	47	27	180	187	220						
	с		53	56	62	73	69	61	58	63	63	53	113	136	155	172	116				
	d		53	73	62	111	120	93	98	79	56	55	75	205	198	198					
4.3	a	66	44	57	81	79	80	75	66	51	65	134	187	223	193						
	b		35	27	72	56	133	151	93	203	146	76	168	188	205						
6.3	a	52	53	38	53	61	102	74	66	48	55	107	139	183	179	195					
	b		52	44	44	48	45	95	204	202	118	175	207	203							
8.3	a	36	30	32	39	67	148	138	116	92	95	205	203	204							
	b		34	33	40	43	50	47	72	67	61	203	178	210							
10.3	a	52	123	219	84	244	235	195	160	133	195	202	210								
	b		57	41	35	32	46	39	50	134	215	193	198								
12.3	a	58	46	46	45	46	63	107	142	198	208										
	b		52	76	59	65	84	160	149	160	214	194	194								_

.

 Table 1.
 Distribution of moisture content in Todo-fir trunk.

Table 1-1. Sample tree No. 1 (with frost crack)

* This specimen includes pith, and so forth.

Table 1-2. Sample tree No. 2 (with frost crack)

from (m)	sn								I	Dista	ince	fro	m p	ith	(c m)									crack erature mm)
Height ground	Radi	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Width of in tempe of -5°C (
0.3	a	210	200	180	120	65	69	89	66	45	49	68	124	143	142									3.05
	b		217	219	137	183	69	105	86	61	78	93	64	50	52	38	105	125	159	146				
	c		199	215	188	149	182	201	195	150	125	127	87	86	47	60	102	98	102	153	149	157	136	
	d		221 _.	208	243	146	86	59	85	79	50	36	.97	192	176	175								
0.5	a	183	202	31	144	159	128	118	- 64	97	86	71	97	141										3.40
	b		125	216	114	138	144	106	196	211	187	163	76	48	49	101	137	156						
	c		142	220	243	206	125	154	200	194	133	148	118	93	89	107	87	108	156	145	142			
	d		217	163	169	158	154		185	164	154	168	149	167	151									
0.9	a	213	236	219	198	202	203	158	126	109	113	66	110	146									i	3.40
	b		216	238	232	204	180	165	59	89	.79	92	65	50	126	163	163							
	c		212	231	201	176	199	191	167	118	82	97	169	117	116	145	155							
	d		227	193	185	197	198	201	186	178	98	118	171	173		•								
1.3	a	207	215	228	201	149	188	246	99	130	140	102	118	153	169									2.05
	b		231	237	178	233	100	109	279	203	218	193	152	132	119	112	98	184	160					
	с Ч		212	244	222	200	199	190	199	150	108	120	190	140	112	101	100							
99	u	1.07	214	217	208	203	107	141	83	156	178	001	140	110	107	170								1.05
4.0	a h	101	173	137	114	189	199	108	213	100	218	231	148	110	187	178								1.00
	0		107	01 915	216	97	108	00 1/18	101	154	149	00 171	105	169	159									
	d		177	160	140	158	132	190	87	113	110	110	05	158	179									
43	a	63	49	35	30	53	57	49	63	81	119	97	72	177	176									0.00
2.0	h		40	58	24	98	56	61	135	156	117	136	171	<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>										0.00
6.3	a	45	46	53	44	45	41	68	64	-68	106	173	185											
	b		41	39	34	42	58	107	74	128	147	211												
8.3	a	57	44	45	39	36	58	72	109	77	97	210	190											
	b		41	39	34	42	58	107	74	128	147	211				·								
10.3	a	66	50	46	37	38	58	80	92	129	196	193												
	b		41	49	110	135	173	76	90	185	207													
12.3	a	110	53	39	40	51	62	140	175	216														
	b		57	54	104	137	163	170	194	204														
16.3	a	125	112	137	152	180	168																	
	b		108	94	149	167	149																	
18.3	a	161	110	146	165																			
	b		94	160	182				,															

Height from							Di	stan	ce f	rom	pit	h (er	n)							
ground (m)	Radius	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.3	a	105	124	94	64	63	48	46	57	78	59	33	30	51	28	23	29	107	146	146
	b		105	124	42	66	57	40	24	29	27	101	148							
	c		68	52	66	81	74	45	28	28	25	25	133	152						
	d		109	48	35	48	40	50	45	74	51	46	40	43	22	25	101	144		
2.3	а	194	216	175	163	212	156	76	76	84	79	54	38	128	188					
	b		157	127	168	136	110	123	95	92	81	63	93	186						
	с		180	229	220	216	202	189	109	82	57	119	192							
	d		200	216	186	196	198	182	196	176	62	53	53	99	166					
4.3	a	236	226	177	94	92	68	120	156	215	224	194	149	145	204					
	b		217	121	172	182	176	95	121	139	119	135	185							
	с		117	159	73	70	88	73	79	110	119	96	149	195						
	đ		140	114	138	60	70	79	107	96	50	66	107	.181						
6.3	а	93	84	51	52	89	128	198	197	177	112	113	119	146	203					
	b		50	45	39	67	71	116	127	113	119	159	206							
	c		47	21	56	85	123	141	163	135	131	156	199							
	d		50	44	54	143	166	76	84	86	78	66	124							
8.3	a	141	48	77	76	48	61	79	63	- 57	61	77	97	167						
	b		140	197	215	220	210	207	156	162	216									
	c		76	101	87	138	75	104	170	112	140	164	195							
	d		74	182	107	149	149	196	146	118	91	145	189							
10.3	a	100	51	44	45	53	70	59	63	62	76	165	172							
	b		56	42	51	81	93	84	117	169	213									
	c		60	50	52	96	171	212	135	132	176	203								
	d		35	40	41	44	47	54	77	185	174	178								
12.3	, a	75	73	85	165	175	66	61	99	94	178	191								
	b		52	82	177	177	156	103	145	210										
14.3	a	38	50	51	55	70	117	163	196											
	b		88	51	48	66	63	106	164	201										
16.3	a	121	103	65	100	77	101	125												
	b		97	58	140	124	121	143												
18.3	a	86	99	77	127	164														
	b		63	104	140	137							·							·
20.3	а	152	105	173																
i	b		93	179																
21.3	a	84	154																	
	b		150																	
.				_																

 Table 1-3.
 Sample tree No. 3 (without frost crack)

	Table 1.4.	Sample	tree No.	4	without	frost	crack
--	------------	--------	----------	---	---------	-------	-------

Height								D	lista	nce	fro	n pi	th	(cm)							
from ground	Radius	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(m)																					
0.3	a	180	234	272	170	59	44	59	68	53	60	145	121	49	32	110	177	172	192	237	190
	b		64	70	57	54	45	57	80	66	42	33	62	211	196	193					
-	c ·		211	62	45	51	48	67	64	65	68	114	185	196							
	d		253	138	64	50	63	62	63	98	124	70	76	108	85	109	155	140			
2.3	a	103	66	75	68	136	159	79	65	68	86	88	82	74	148	212	226				
	b		60	51	54	72	108	144	87	68	76	102	219	241	240						
	с		80	56	67	66	55	68	66	53	52	77	56	214	240	237					
	d		69	63	89	71	75	61	63	95	85	220	245	261							
4.3	a.	80	52	109	102	66	63	127	116	206	259	278									
	b		68	114	79	78	76	60	83	104	181	257	254	251							
	c		67	59	88	76	67	49	55	48	92	69	204	270							
	d		64	59	54	105	223	95	59	50	160	135	70	45	112	165	171				
6.3	a	69	64	42	66	194	243	119	115	145	91	77	168	217	185						
	b		51	48	49	60	59	69	111	115	250	253									
	c		56	51	36	50	84	56	91	139	128	265	270								
	d		55	46	47	56	68	67	92	122	193	237	243								
8.3	а		49	44	35	51	179	192	95	53	57	45	110	217	183						
	b		37	39	39	50	63	59	95	102	260	279									
	c		47	32	40	41	42	64	96	100	216	263									
	đ		49	40	46	57	66	64	82	82	181	268	234								
10.3	a	56	47	38	44	54	67	51	74	130	78	213	248								
	b		42	49	65	88	93	128	257	255											
	c		42	47	40	74	61	62	82	243	250										
	d		38	35	41	79	63	61	84	148	243	232									
12.3	a	63	58	39	55	50	58	84	137	241	239										
	b	1	56	50	45	53	68	108	213	225											
14.3	a	66	62	50	53	74	85	206	232												
	b	ļ	59	79	49	82	152	228													
16.3	a	145	115	68	59	236	172						÷								
	b		64	56	205	243															
18.3	a	59	112	214								•									
	b		110	223																	
19.3	a	77	174																		
	b		180	1																	

供試木 No. 4.は上の3本に比べて、水喰材がはるかにすくない材で、僅かに分散的に存在 する水喰材をみる程度であつた。また、内部割れは、ほとんど全く見られなかつた。

天然林産のトドマツには,程度の差こそあれ,水喰材のある立木が非常に多く,筆者 の観察した範囲では,樹幹のどこにも水喰材がないという立木は稀であつた。

トドマツ, エゾマツなどの, 辺材あるいは水喰材のような含水率の高い材部は, 低温 で凍結すると著しく色相が変つて, やや暗い飴色になる。これに対し, 含水率の低い材部 (正常心材) の色相は, 低温においても常温と変らない。したがつて, 低温では材の高含水 率部と低含水率部の色相の違いが著しくなり, 肉眼的に両者を容易に区別できるようにな る。もつとも, この区別は, 一般的には rough なものというべきであつて, 材の中の含 水率差の大小, 材の固有の色相, 水喰材部の着色などによつて, その正確さが影響される (483 頁参照)。しかし, われわれは, 低温において辺材や水喰材がこのような色相になる ことによつて, それら自体の存在すること及びそれらの水分の凍結したことを, おおむね 確かめることができる。

樹幹内部における水喰材の分布は、垂直的、水平的にきわめて複雑なものであつて、 上掲の方法では、実は、水喰材分布の大体の傾向しか知ることができない。水喰材の分布 をより完全に観測するためには、測定的方法としては、地上高別に、接近した数多くの円 板をとり、かつその円板の全面にわたつて水分分布を測定する必要がある。円板の全面に わたる測定例については後述する。観察的方法としては、たとえば1本の丸太の場合はこ れから "タラ挽き" の方法で多数の薄板を挽き, それらの板の表面に現われる水喰材の狀態 から丸太材内部の水喰材の分布を立体的に考察することができる。Fig. 11, 12 はこのよう な目的で、凍裂丸太及び非凍裂丸太から板を製材し、その板の一部を、製材した順序に展開 した狀態を示す。Fig. 11 の原木は小さな死節の比較的多い, 品等2等の丸太(末口直径 40 cm) で、凍裂はなかつたが、元口断面には著しい水喰材が現われていた。しかし、末口 にはほとんど全く水喰材が現われていなかつた。製材の結果、この丸太の内部には死節に 連なる多くの水喰材の存在することが明らかになつた。 黒線で囲まれた (これは便宜の ためチョークで縁取りをした)多くの不規則な形の図形がそれである。この丸太の中には, あまり大きな拡がりをもたない、それぞれ独立の多くの水喰材が含まれていた。すなわち 写真の中の個々の図形は、それぞれ、ある程度の奥行をもつ独立の水喰材の縦断面を示 すものである。そして、個々の水喰材は、比較的に含水率が低く、かつ、大形の割目を含 まず、又氷のつまつたものもすくなかつた。此の種の水喰いは枝水喰いと言われるもので あり, 上掲 Table 1-1, 1-2, 1-3 に掲げた樹幹の上方部にみられる水喰材に相当するもの である。 Fig. 11 に示される丸太の水喰材は幹軸方向に長く連続するものではないから, 任意にとつた横断面にはほとんど水喰材の現われない場合もありうる。上述のようにこの

丸太の末口がかような断面であつたわけである。Fig. 12 は凍裂木樹幹の基幹部丸太を製 材し,展開したものであつて,この場合,水喰材は丸太の中軸部に著しく集中しており, 大形の割目が比較的多く存在し,氷をみたしていた。この丸太の凍裂は非常に古いもので あつたが,伐採当時なお冬季には裂開しており,その水分分布は,上掲供試木 No.2の基 幹部のそれに類似するものと考えられる。又,横断面は Fig. 15,16 などに類似する。こ の丸太の表面に現われた凍裂は2本で,1本は元口から約2.7 m,他の1本は末口から約 2.5 m の長さにわたつて割れており,途中で接続せず,ややくい違つていた。これに対し Fig. 13 に示す写真の板の原木は,その元口から約1.5 m の深さまでしか凍裂がはいつてお らず,それより上部は外見上あまり欠点のない丸太であつた。1本の丸太の,凍裂のある 部分とない部分の,内部の狀態がよくわかる。

次に凍裂木の,凍裂との関連におけるいろいろな地上高部位から取つた円板の全断面 について,その水分分布を測定した結果について述べよう。もつとも,供試円板相互の間 隔はかなり大きく,上述のような,凍裂木の水分分布を完全に測定しようとする目的には 必ずしも沿うものではないが,円板面の肉眼的性狀(写真によつて示す)に関連させて, その水分分布を檢討することができる。供試木は,北大雨龍演習林産のトドマツ,胸高直 径 35 cm,樹高約 25 m,樹齢 170 年。第1の凍裂は地上高約 50 cm に始まり,310 cm に 終る。第2 の凍裂は 670 cm から 750 cm,第3 の凍裂は 800 cm に始まり約 12 m に終る。 地上高 13 m 附近で二又に分れるが,この二又部の直ぐ下の 12 m から 13 m の間の樹幹 は,癒傷部,腐朽部,孔狀部などを含み,複雑さわまる形態を示す。この樹幹の地上高 70 cm~13.0 m の間から 30 cm の間隔で円板約 40 枚を切り取り,断面の形態的性狀を肉眼的

に観察した。さらに,地上高 100, 160, 220, 280, 340, 430, 550, 670, 730, 790 cm の円板については,これ らの全断面の水分分布(含水率測定片の大きさは 1.5 ×1.5×3 cm³,試験片の切り取り方,その番号のつ け方などは Fig. 2 を参照のこと)を測定した。

これらの円板の写真を Fig. 15~26 に示し, ま た, 含水率分布の測定結果を Table 2 (2-1, ……, 2-10. 499~508 頁に示す) 及び Table 3 に示す。 Fig. 15 の円板 (Disk No. 1) の含水率は Table 2-1 に示される (以下同様, ただし, Fig. 25, 26 の円 板の含水率は示さず)。Table と Figure との対応は, たとえば Fig. 15 について言えば, 図に示される髄 を含む 2 つの直交する直径 (この印刷の縦方向と横





方向にそれぞれ合致)の上に、Table 2-1 の縦横2つの直交する線 (交点が髄)を相対応す るように重ねることによつて得られる (すなわち、写真の縦線と Table の縦線… H, I 欄 の間の線…,写真の横線と Table の横線… 11, 12 列の間の線… を重ねる)。Fig. 16 以下 は、写真の中の直径の描画を省いた。写真は、円板の凍結狀態で撮影したものであるが (ただし円板温度はほぼ 0°C)、心材中の濃淡の暗褐部が、肉眼的に認められる水喰材である (たとえば、Fig. 16 の矢印で示される部分)。写真における水喰材の肉眼的分布と Table 2 の含水率分布の間にはおおむね完全な一致が認められる。一般的に言つて、肉眼的に認め うる、水喰材の限界的な含水率は、すでに述べたように、円板のいろいろの性狀に影響さ れるが、この凍裂木では、おおむね 100% 前後 (80~120%) であつた。この凍裂木は、凍 裂のある部分はもちろん、ない部分にも、かなり著しい水喰材を含んでおり、それぞれの 円板の平均含水率およびその比較度数分布は Table 3 に示すとおりである。

					~					
Moisture content					Number	of disk	5			
class (%)	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$0\!\sim\!25$. 0				
$26\sim 50$	19%	8	1	2	1	7	• 0	2	,3	2
$51\!\sim\!75$	16	23	8	8	14	12	6	10	7	7
$76 \sim 100$	8	14	13	12	14	12	13·	7	12	18
$101{\sim}125$	11	11	15	14	16	16	18	12	16	14
$126{\sim}150$	9	10	11	13	13	13	16	14	12	13
$151{\sim}175$	18	7	11	11	10	11	13	12	11	13
$176 \sim 200$	15	15	14	18	16	5	11	15	11	16
$201\!\sim\!225$	4	9	20	18	13	12	14	17	15	12
$226\!\sim\!250$		4	7	4	4	8	8	12	12	5
$251\!\sim\!275$				0		1	1	1	0	
$276\!\sim\!300$				0		1				
Average moisture content of each disk (%)	114	124	153	152	139	138	151	158	153	143

Table 3. Relative frequency distributions of moisture content of disks,
obtained from the computative values illustrated as a form of
cross sectional distribution in these disks in Table 2.
(Table 2 is illustrated in pages 499 to 508)

* This disk is the same as disk of Table 2-1 (or Fig. 15), and so forth.

各円板の含水率度数分布は、何れも2頭的な分布をなし、1~2の例外を除きおおむね 100%前後及び200%前後に極大を持つ。Disk No.1は、含水率26-50%の間に分布の 最大を持ち、75%以下の材部が全円板の1/3以上を占める。No.2の円板は51-75%に 最大を持ち75%以下の材部が全体の1/3を占める。これらの円板附近の幹材部では高含 水率部と低含水率部との差が非常に明らかである。No.3,4の円板では,前2者に比べ,全 般的に高い含水率の材部の中に200%以上の強い水喰材部が分布する。 凍裂のない No.5, 6,7などの円板では,依然として,全般的に wet であるが200%以上の材部の割合が小さ い。No.6には正常心材が或る程度見出される。 No.8には175%以上の高含水率の材部 が多く,特に,200%以上の材部が凍裂の側に集中している。No.9も200%以上の材部 が割合多い。No.10には,かなり著しい凍裂があつて,高含水率部が円板の中央に集中 (髄心附近は比較的に低い)しているが,その周辺には100%未満の材部が相当分布してい る。Fig.25,26などの円板は,含水率の測定操作中にバラバラになつてしまうので,上に 述べたような統一的方法で測定できず,断片的な結果に止つた。それによれば,Fig.25 の円板は全面的に100~250%ないしはそれ以上の含水率を持つものと考えられる。Fig. 26の中央部(腐朽部)は50~90%の範囲にあり,この腐朽部は地上高が増すにつれて多く なつたが,逆に含水率は低下する傾向を示した。

これらの含水率の値は, 1.5×1.5×3 cm³のテストピースについてのものである。ピースの中に, 氷で満たされた割目が含まれておれば, ピースの大きさが小さくなるにつれてその含水率は異常に高くなつて行くことは当然である。

III・1・2 凍裂の癒着と含水率 凍裂はある年限を経過した後,完全に癒着することが ある。この場合,凍裂材内部の水喰材水分のある種の退化がその主因をなすものと考えら れる。たとえば Fig. 27 は完全に癒着した凍裂の断面を示すものであるが,この断面附近 の樹幹内水分分布は、むしろ含水率についての正常材 (例えば上掲 Table 1-4) に近いもの



Fig. 3. Distribution of moisture in a disk with both perfectly healed crack (showing by B) and not healed (A). (cf. Fig. 28)

であつた。これに関連する事実が、また、同一樹幹のほぼ同一地上高部位に、癒着した凍 裂と現在なお裂開中の凍裂とが共存する場合についてもみることができた。その実例とし て、Fig.28 に A, B 2 つの主な凍裂を有する円板を示す。 B は約60 年前に凍裂し、30 年前に完全に癒着したものであり、A は約50 年前に凍裂し、この立木伐採時もなお凍裂 中であつた。この円板の水分分布を Fig.3 に示す。この円板は正常心材部を全く欠除し ており、全般的に含水率が高いが、特に凍裂 A の内方に高含水率の部分が多く、したが つて、割目も氷のつまつているものが多かつた。上例は、いわば、巨視的に、凍裂の位置 と水分分布の関係が明白にみられる場合であつて、樹幹の横断面内の両者の間に、常にこ のような関係があるわけではない。Fig.28 をもつと微視的に、例えば、Fig.29 をみれ ば、小さな幾つかの、既に癒着してしまつた凍裂が目につく。これらの凍裂の内方部分 は、それと、円板の中心を挟んだ反対側の部分に比べて、かなり高い含水率を示している。 にもかかわらず、数個の凍裂は完全に癒着してしまつている。このような微小な凍裂の場 合は、上掲 A, B のような巨大凍裂の場合とはことなつた、円板内の、より局所的な水分 条件の変化に関連するものと考えられる。これらは凍裂発生機構に関する問題であるの で、別に報告する。

III・2 凍裂幹材部の内部割れ

トドマツの凍裂樹幹の内部には,通常,いろいろな,かつ,おびただしい数の割目が 存在している。これらの割目は、上述した材の水喰部分と共存し、冬季間には氷をみたし ている。凍裂幹材内部の,これらの割目と,いわゆる凍裂との間に如何なる成因的関連が あるかについては別に報告する。

III・2・1 含有水分の凍結狀態における內部割れ 先ず冬季間に伐倒したトドマツ凍裂 木(上掲 Table 2 の水分分布の測定に用いた供試木)内部の割目についての観察を中心に して述べる (Fig. 15~26 参照)。

この樹幹の 0.5~3.1 m に第1の凍裂がある。この部分の樹幹の内部には、外部から髄 心方向に侵入する、最大の割目としての凍裂があり、その外に多くの放射狀の割目と周囲 狀の割目とがある。これらの放射狀割れと周囲狀割れの或るものが凍裂に接続し、曲折し て髄心方向に向う。胸高直径 10~15 cm 位の小径凍裂木においては、凍裂がほとんど真直 ぐに髄心附近にまで達することもあるが、それよりも大径の凍裂木では、此の供試木にみ られるような狀態を示すのが普通である。

基幹部の放射狀割れの大部分は,一般的には長さ(幹の横断面に於ける)も短かく, 幅も狭いのが普通である。しかし,時には,これらの割目の幾つかが,著しく長く外周方 向に伸びて辺材部に達し,さらに形成層に及んで材部の傷痍組織を造成する場合がある。

Fig. 15 の左上部, Fig. 17 の右下部などにみられる割目がそれである。 もつとも, この種類の割目の存在は基幹部に限られるものではなく, むしろ樹幹の上方部において, よりしばしば出現するもののようである (Fig. 25, 26 など)。第1の凍裂と第2の凍裂との間は高含水率の水喰材がすくないが, また, 割目が特にすくない (Fig. 19, 20, 21)。

樹幹の地上高を増した第2の凍裂附近では、凍裂そのものもあまり著しいものでなく 割目の数もすくなかつたが、やや大きな放射狀割れが目についた (Fig. 22)。第3の凍裂 (Fig. 24, 25, 26) は凍裂そのものがきわめて著しいものであつたが (Fig. 25 附近が最大)、 内部の割目も著しく、ことに比較的幅の広い大形のものが多かつた。Fig. 25 からも分る ように、この附近の樹幹では、凍裂、放射狀割れ、周囲狀割れなどが相接続して、円板の内 部は網目のように割れている。Fig. 25 は円板の凍結狀態で撮影したものであるが、この 附近から取つた円板を後に常温にもどしたところ、円板には、もはや凍裂の割目を閉じる 力がなく、円板はパラパラになつてしまつた。一般に、樹幹の上の方の凍裂、とくに幹の 折損部、二又、孔狀部などの直下にある凍裂にはこのような内部形態を持つものが多い。 著しい内部割れのために、凍結の融けた後も凍裂の割目を完全に閉じることができないま まに、形成層の活動によつて造成される新しい組織が凍裂の割目の上に橋をかけるように 押出される傾向がある。このため、凍裂の内方には幅広い割目が残り (Fig. 26)、また、あ る場合には巨大な周囲狀割れを残すようになる (Fig. 30)。新しい組織によつて、凍裂の 割目の一番外側が完全に埋められた場合、これら巨大な凍裂の割目、周囲狀内部割れなど の中に、夏の間は、水が充たされ、冬には巨大な氷の層がみられることがある。

上述したように、樹皮には肉眼的に認められる痕跡を残さないが、形成層まで達して、 材部の異常生長を起す割目は、樹幹の上方部においてよくみられる。これらの割目のあ るものは、外部的、内部的条件の整つた場合、樹皮表面にまで達する凍裂として開口する ものと考えられる。凍裂部樹幹に内在する多くの割目には氷が詰まつているのが普通であ る。Fig. 31 は Fig. 25 の円板附近の樹幹中心部の割目を示す。放射狀割れ、 周囲狀割れ の中はほとんど完全に氷で充たされている (写真では黒色)。黒色の中に白く点在して見え るのは、気泡及び引き裂かれた繊維組織の一部である。

割目の形はさまざまである。周囲狀割れは、一般に年輪に沿つて起り、Fig.31 のように、年輪界から画然と分離する場合が多い。このような場合、明らかに、傷痍樹脂溝列 に沿つて材部分離の行われることがしばしば観察される。もちろん、周囲狀割れが年輪の 境界部以外においても起り、また、幾つかの年輪にわたつて斜めにのびていることもあ る。放射狀の割目は、髄線方向にある程度長く伸びるのが普通である。しかし、1年輪あ るいは2年輪ないしは数年輪毎に、短かく、順次右にあるいは左にずれて接続し階段的に 伸びるものがしばしば見られる (Fig. 32)。また、稀には1年輪幅あるいは2年輪幅の厚い

凸レンズ狀の割目が出現することがある。この場合には、割目の中が完全に氷で満たされ 氷に接する材部は明らかに年輪方向に圧縮されている。かつ、その材部の色相は周囲の水 喰材のそれよりも明るく,著しく水分の低い狀態を呈している。

凍裂部樹幹の放射狀割れの大きさと、その出現頻度は、基幹部と樹幹の上方部とでは ことなるが、次に、凍裂のある基幹材部の放射狀割れについてその大きさを測定した一例 を示す (Table 4)。

> (A) Length of radial cracks in a butt end (cross-sectional surface) of a mature tree trunk. (cf. Fig. 33).

横断面におけるその長さ,幅は Fig. 28 の円板の下方 30 cm の樹幹の位置から取つた

Size of the internal cracks in Todo-fir trunk. Table 4.

Length (mm)	Frequency	Length (mm)	Frequency	Length (mm)	Frequency
2	19	16	18	30	1
4	28	18	10	32	0
. 6	30	20	10	34	· 1
8	38	22	5	36	1
10	40	24	3	38	0
12	33	26	4	40	1
14	25	28	3		

(B) Muximum value of width of the same cracks as (A).

Width (mm)	Frequency	Width (mm)	Frequency	Width (mm)	Frequency
0.1	17	0.6	33	1.1	0
0.2	28	0.7	17	1.2	2
0.3	44	0.8	11	1.3	0
0.4	59	0.9	0	1.4	0
0.5	50	1.0	6	1.5	3

(C) Length of internal cracks on a sawn board surface, in longitudinal direction of fibre. A case of a board from a log having wet wood, but not frost crack. (cf. Fig. 11).

Length (cm)	Frequency	Length (cm)	Frequency	Length (cm)	Frequency
1	10	7	50	13	13
2	31	8	38	14	11
3	40	9	34	15	6
4	59	10	32	16	5
5	65	11	28	17	5
6	45	12	14	18	5

Length (cm)	Frequency	Length (cm)	Frequency	Length (cm)	Frequency
1~5	60	26~30	8	51~100	21
$6 \sim 10$	100	$21 \sim 35$	7		
$11 \sim 15$	71	$36 \sim 40$	3	$101 \sim 150$	9
$16 \sim 20$	35	$41 \sim 45$	5		
$21 \sim 25$	20	46~50	1	150~	2

(D) Length of internal cracks on a sawn board surface, in longitudinal direction of fibre. A case of a board from a log having a frost crack. (Fig. 34).

円板の上 (Fig. 33 に類似) で測定した。

凍裂樹幹の横断面における割目の長さ及び幅は、一部のものを除いては、例えば、Fig. 11 に示すような水喰材部横断面における値と著しくことなるところはないが、幹軸方向 の長さは凍裂樹幹の場合に著しく長いものがあり、時には数メートルに及ぶことがある。 III-2-2 常温における内部割れ 冬が去り、気温が上昇するにつれて樹幹の温度も上昇 する。水喰材の凍結は融解し、凍裂の割目は閉じる。この狀態すなわち常温における凍裂 樹幹内部の割目はどのような狀態にあるのであろうか。

夏に、凍裂のある立木の凍裂部を鋸断すると、その材部から、水分が滲出し、あるいは 溢出し、また、時には多量の水が激しく噴出することがある。これらの水分は、主として、 材中の割目の中に含まれていたと考えるべきものであつて、とくに後者は、Fig. 30 に示す ような形の巨大な割目を含む凍裂部樹幹の下方部を切断する場合に時としてみられるもの である。

常温において,凍裂樹幹を切断し,その切断面を露出すれば,その断面附近は,含有 水分の流出その他によつて水分条件の変化をきたす。このため,流出水分を含んでいたと 考えられる割目の見掛上の性狀(たとえば幅など)が,いくぶんか変化*するものと考えら れる。しかし,これは止むを得ない。常温で,凍裂木樹幹の凍裂部から円板を切取ると, その円板面には,通常,比較的少数の,幅の広い,放射狀割れや周囲狀割れがみられる が,凍結狀態でみられた,おびただしい数の,小さな放射狀割れは(Fig.33),大部分が非 常に見にくいか,あるいは全く見ることができない。したがつて,常温では肉眼的に認め られる割目の数は非常にすくない。もつとも,凍結時において,幅の広い放射狀割れ,周囲 狀割れの多かつた樹幹上方の凍裂部から,常温に切り取つた円板では,その内部に visible な割目がかなり多く,円板全体が loose になり,上述したように,円板がバラバラになつ てしまうことがある。

^{*} 樹幹の切斷の前と後において割目の狀態が變化することは常温に限らない。低温においてもしばし ば觀察される。

常温において凍裂丸太から木取つた製材の表面の割目についても、ほぼ円板の場合と おなじことが言える。すなわち、凍結狀態で製材した板の表面(但し板目面)には、多く の幅のせまい割目が認められるが、常温で製材した場合には、きわめて少数の割目しか認 めることができない。もつとも、著しい(すなわち含水率の高い)水喰いは、不明瞭なが ら肉眼でその存在を認めることができるから、そのような部分には、目には見えないが、 多くの割目があるものと考えなければならない。このような製材では、乾燥が進行するに つれて、それまでみえなかつた割目がその表面に現われて来る。その一例を Fig. 35, 36 に示す。Fig. 35 は、生の凍裂丸太から、常温において製材した板の1枚の表面で、板の右 半分にみられる暗色部が水喰いであるが、ほとんど割目を認めることができない。Fig. 36 は、Fig. 35 に示した板を平均含水率約15% に乾燥した狀態におけるものである。多数の 割目が見えているが、これらの目に見える割目の間にはなお多くの小さな割目が存在する。

III・3 霜腫れの性狀

III・3・1 凍裂の初期 樹皮の表面にまで達する割目すなわち凍裂が発生した年から3~ 4年の間、凍裂は、樹幹表面においてなお霜腫れとして認められず、また、冬季裂開中で も、なめらかな樹幹表面にできた単なる割目として認められるにすぎない。したがつて, 生長期にはいつて割目が閉じると、引きちぎられた樹皮組織もほとんど完全に相接し、裂 目そのものの痕跡は殆んど見えなくなる。しかし、この段階の凍裂においては、Fig. 38 からもわかるように、凍裂部にできる傷痍組織の内方には多くの傷痍樹脂溝が造られ、 さかんに樹脂が分泌されるので,その樹脂が樹皮の裂目を通つて樹皮表面に溢出し,凍裂 の裂目を被う。そのため、凍裂そのものは目立たないが、樹幹表面には、縦長いよごれた 線が目につくようになつてくる。Fig. 38 に示した凍裂では,凍裂の初期において,明ら かな異常生長を開始した年の2年前の生長期に、すでに、わずかながら傷痍樹脂溝の形成 と,異常肥大生長の行われたことが認められる。その翌年には,春,秋(年輪内の位置的 関係からの推測)の2回にわたり樹脂溝列が形成されている。 すなわち,明らかな異常生 長の起つた年のすくなくとも 2~3 年前から、 この附近の組織にはなんらかの変調が起り つつあつたことが明らかであり、おそらく、明らかな異常生長を始めた年の前の冬に、決 定的な割裂が行われ、いわゆる凍裂が発生したものと考えられる。

III・3・2 典型的な霜腫れの形成 凍裂生起の機構は如何であれ、その原因となる内外部 的諸条件が存続する限り、毎冬、樹幹は凍裂する。正常もしくはほぼ正常に生育する立木 では、樹幹の温度が上昇し、内部の水分凍結が融解すると、樹幹の円周方向には圧縮力が 作用し*、凍裂の割目は完全に閉じる。冬期間、凍裂によつて損傷を受けた形成層は、次

* 筆者測定. 未刊

の生長期に異常肥大的に新組織を形成し、かつ傷痍樹脂溝を造成する。この生長期に続い てくる冬になると、前年の凍裂部を被つて形成された1年分の材部新組織及び樹皮新組織 は容易に引きちぎられ、その樹幹の凍裂は開口する。以上のような経過が年々くりかえさ れる (Fig. 38 その他からは、この経過をよく読取ることができる)。さて、この経過が年々 繰返されると、凍裂部の横断面は突起狀となり、樹幹表面は、いわゆる典型的な霜腫れ (frost rib; Frostleiste) となる (Fig. 39 その他)。一方、凍裂材部の外側を被う樹皮部は、 その内生的な生成機構から、凍裂の初期ならびにその後、年々できる裂目が、霜腫れ材部 の生長につれて次第に押し広げられ、そのため凍裂の両側面が Fig. 41 に示すような多く の縦裂(凍裂方向の)の重なりからなる特異な形態を示すに至る (Fig. 40, 41 その他)。この 樹皮の縦裂の数(片側)と凍裂繰返しの経過年数との関係についは、実験的になお問題があ るが、この数を調べれば、経過年数の大体を知ることができ、また、霜腫れ附近の材部の生 長度を推察することができる。たとえば、Fig. 40 は Fig. 41 に比べて、凍裂の裂開、癒 着の繰返し年数がはるかに短かく、かつ Fig. 41 に比べて、すくなくとも霜腫れ材部の生 長がはるかに旺盛であることが明らかである。(Fig. 41 の凍裂の繰返し年数は約30年、 Fig. 40 の凍裂は約15年、いずれも完全に癒着してしまつている)。

III-3-3 **霜腫れのつつみこみ** 凍裂発生の内部的,外部的原因が退化してゆくと冬に なつても,凍裂は開口しなくなり,凍裂の割目の上には健全な組織が毎年造成される。ま た,Fig.27,38からも明らかなように,正常な生育をなす立木では,割目の外側部(霜腫 れの尖端部)の生長が衰えはじめる頃から,逆に霜腫れの両側面の木部組織の生長が著し くなり,霜腫れの突出部を両方から埋め,ついには,樹幹の表面が平らになつてしまう。 Fig.27 の凍裂は,伐採した年から51年前に始めて割裂し,約15年間,割裂癒着の経過 を繰返し,割裂後約20年にして完全に癒着,25年目頃から霜腫れの両側面の急速な肥大 生長が起り,35年を過ぎる頃には霜腫れが全くみられなくなつている。これに対し, Fig.39は老齢の凍裂木にみられる霜腫れで,癒着完了後50余年を経過しているにもかか わらず,なおその平坦化が行われていない。

癒着が完了し,若干の年代を経過した凍裂樹幹の樹皮部は,Fig.40,41 などに示され るように,凍裂の左右の樹皮縦裂部の間に平坦な,ほぼ正常に形成された後生樹皮部をは さんでいる。これに対して癒着完了まもない凍裂では左右の縦裂部が霜腫れの尖端で相接 し,平坦部を欠いている。癒着完了後の年代を経過するにつれ,この,樹皮の平坦部は幅 を増して行く。

III・3・4 幹軸方向における霜腫れの形態の變化 霜腫れの断面の形態は,凍裂の長さの 方向によつて大いに異なる。凍裂は,外見的にみられるその全長にわたり,必ずしも同時 に発生するものではない。それは凍裂発生の stress の幹軸方向の分布ならびにその年代的 変化に関連するものと考えられる。 以下に, 地上高による凍裂の霜腫部 の形態的変化を観察した一例につい て述べる。供試木は北大天塩第一演 習林産トドマツで、樹齢は約100 年。 胸高直径 14 cm、 樹高 16 m で あつた。幼齢時代の被圧が著しいが 近年になつてようやくその狀態から 脱し,特に上長生長が目立つてきて いる。このような小径被圧木を供試 木として選んだ理由は、1; このよ うな小径被圧の凍裂木が非常に多い こと¹⁾, 2; 中・大径のトドマツで, 完全に癒着した凍裂の痕跡がその樹 幹表面にみられる場合はこの種の凍 裂を内包することが多いこと、など





、である。Fig. 4 に, この樹幹の凍裂部附近を模式的に示し, その凍裂についての若干の観 測結果を掲げる (Fig. 42, 43, 44, 45, 46, 47 を参照)。

この凍裂は、地際近くから樹皮の裂目が現われ始め、凍裂の中央部に近づくにつれて、 樹皮の裂目は広く、凍裂の割目は大きくなり、また、典型的な霜腫れを形成する。地上1.55 m で樹皮の裂目はなくなり、凍裂は見掛上なくなる。凍裂の中央部においては、その発生 が、この供試木を伐採した年から8年前であるが、見掛上の両端に近づくにつれて2~3年 遅れている。のみならず、外見的に凍裂のなくなつた部分、すなわち、地上高10cmの断面、 あるいは160~190 cm 附近においても傷痍樹脂溝の生成ならびに異常生長(Fig. 47, 42 な ど)が認められ、また、部分的には材部に凍裂類似の割目が認められる。この割目は、下か らの凍裂の割目に続くものであり、横断面におけるその狀態は、前に(486 頁 20 行目)述 べた放射狀割れに相似するものである。この、樹皮表面には現われずに内部的に凍裂に連 続する放射狀割れの存在、異常生長材部の存在、傷痍樹脂溝の生成などの範囲は、基幹部 の凍裂では下方部より上方部に長く、特に傷痍樹脂溝の生成はかなり上方に及ぶ場合があ る。この供試木のような凍裂木では、立木が被圧狀態にあるにかかわらず、凍裂部分には 盛んに傷痍組織を造成し、典型的な霜腫れ(Fig. 45, 46)を形成する傾向がある。この供 試木では凍裂の中央部附近から心材腐朽(Fig. 44 に一部分がみえる)が出現し、上部に 行くにつれて顕著となり、同時に高含水率部分が、散在的に低含水率の腐朽部の間に分布

するようになつた。この狀態は、被圧小径凍裂木にしばしばみられる狀態である。

III・3・5 異常形 以上述べてきた凍裂の霜腫れは、いわば、その立木あるいは少なくと もその立木の凍裂部附近が正常な生育をなす場合に形成される傷痍組織であり、これを常 態と考えればしからざる場合もいろいろある。

たとえば、凍裂が何年か繰返されても、その部分が突起狀をなさず、かえつて凹溝狀 をなすことがある (Fig. 48)。これは、損傷を受けた形成層細胞の分裂能力の低弱、あるい はその他の理由から、凍裂部の新組織の形成が、それに続く材部の生長に劣つた場合で、 おもに中・大径の老木にみられる。また、凍裂の割目は、幹軸に平行になるのが普通であ るが、樹幹の木理が斜走する場合には、木理に沿つて斜めに発生する。したがつて樹幹上 における凍裂の方位が、2方位、3方位にわたることがあり、極端な場合として、筆者は、 ほとんど樹幹上を一周する凍裂を観察したことがある。

新しい組織の形成が、凍裂の割目をはさんで左右対称に行われれば、樹幹表面に現われる割目は、幹の木理に沿つてほぼ直線狀をなすが、しからざる場合には割目は不規則な形をなし、蛇行狀を示すことがしばしばある (Fig. 49)。

同一樹幹の同一地上高の位置のいろいろの方位に幾つかの凍裂が同時に発生する場合 がある (Fig. 50, 28, 26 など)。 これは,主として老大木にみられる凍裂であるが,小径被 圧の立木にもしばしばみられるものである。このような凍裂は周囲狀分布の異常含有水分 に関連し,枝水喰いの場合に多く発生する。

IV 樹幹表面における凍裂類似の欠点

凍裂が常に正常な霜腫れを形成し、また上述したような樹皮の縦裂を明らかにすると は限らない。時には樹幹上の他の欠点と結びついてはなはだしい奇形を呈することもあ る。一方、凍裂とは全く違つた実体を持つ樹幹の欠点でありながら、時には一見正常な凍 裂に似た外見を呈し、あるいは、不正常な形の凍裂と類似の外見を示すものがあつて、凍 裂をこれらのものから判別するのに困難を感ずることがある。特に、凍裂その他の樹幹表 面の欠点が、地上高大なる位置にあつてその細部の識別ができない場合には此の困難が一 層大きくなり、判別不可能な場合がしばしばある。以下、このような樹幹の欠点の2~3 について述べる。

IV·1 樹 皮 裂

これは、ほぼ樹皮のみの縦裂である。材部にはほとんど損傷の痕跡を残さない。初期 の樹皮裂と初期の凍裂を外見的に区別することは必ずしも容易ではなく、裂目の内方の材 部を檢することによつて始めて目的を達する。年代を経た樹皮裂には普通の凍裂のような

樹皮の縦裂の重なりがなく、凍裂とは区別ができる (Fig. 51)。

IV·2 外 傷

樹幹の表面を刃物で削つた傷の痕跡や、伐木の際などに受けた立木の樹幹表面の傷痕 には、時に、不正常な凍裂との外見上の区別がつきにくいものがある。Fig. 52 は、樹幹 表面が刃物(鉈のようなもの)で縦長く削られたためにできた傷の一部を示す。 傷の周辺 には、表皮を削りとられて露出した靱皮組織がみられ、また、中央には縦長い、seamの 線がみられる。その他の部分の表面は主としてコルク組織からなつており、ほぼ平滑な面 と、幹軸に直角な横線を有するのが普通である。 Fig. 53, 54 は Fig. 52 に示した傷のある 樹幹の内部・・横断面・・を示すものであり、Fig. 53 は傷の下端附近、Fig. 54 は中央部附 近の材部横断面である。

立木の伐倒その他の場合に受けたと考えられるすり傷の痕跡にはいろいろのものがあ るが、中には、樹皮の粗慥なトドマツ樹幹の癒着した凍裂との判別に紛らわしい場合があ る (Fig. 55)。

IV·3 昆虫の食害

カミキリ虫の幼虫が樹幹の辺材部を、樹皮に接して幹軸方向あるいはこれに斜めに食 害進行した場合の痕跡も、時に凍裂との判別に紛らわしいことがある。しかし、多くの場 合、その経路が直線的でなく、突然折れ曲つたり、あるいは樹幹表面を大きく蛇行したり するので凍裂との判別が一般的には容易である (Fig. 56)。このような丸太の材部には、 幼虫の通つた孔があり、虫糞がつまつている (Fig. 57)。

V. 要 結

1) この報告では,主として,トドマツ凍裂木,なかんずく凍裂幹材部の,内外部形態的性狀について観察した結果を述べた。("凍裂"の規定は474 頁脚註参照)。

2) 凍裂と最も直接的に関連する樹幹の内部形態は,著しい水喰材の存在することで ある (Fig. 15~26, 42~44, 13~14 など)。 凍裂の存在するところにはかならず水喰材があ る。もつとも,この逆は必ずしも成立せず,かなり著しい水喰材があるにもかかわらず, 凍裂の見られないことがしばしばある (Fig. 11)。トドマツの立木の樹幹に生ずる二又,幹 の折損,孔狀部,太い枯枝の着生などは,凍裂の発生に関連を持つ (Fig. 5, 6, 7)。これら の樹幹上の欠点は,その内部における水喰材生成の原因となるものである。また,根の著 しい傷は,基幹材部の水喰材生成の原因をなすものと考えられているが,これはまた,基 幹部に発生する凍裂と関連を有する (Fig. 9, 10)。 3) 凍裂木の樹幹內水分分布を, 非凍裂木のそれに比較して測定した結果は Table 1 に示されるとおりである。Table 1-1, 1-2, 1-3 の心材部では, 含水率及びその分布の異常 性が著しく, ことに凍裂木では, それが凍裂の位置に関連している。Table 2 (499~508 頁) の値は, 1 本の凍裂木から, 凍裂の位置に関連して切取つた幾つかの円板の含水率分布を 示す。Fig. 15~26 は, これらの円板の断面の狀態を示す。 これらの表と写真から円板上 における凍裂の有無, その円板上の位置, 円板上の水喰材(暗褐部)の分布などの肉眼的に 認識される円板の狀態とその含水率分布の間の関連を認めることができる。

4) 凍裂樹幹の内部には多くの割目が存在する。これらは、放射狀及び周囲狀の割目 で、その大きさ、その形はさまざまである。基幹部の凍裂材には、比較的少数かつ大形の 放射狀、周囲狀割れと、きわめて多数の、小形の放射狀割れ (Fig. 33, Table 4) がある。 これに対し、樹幹上方部の、幹の折損、二又などに関連する凍裂材部には、比較的幅の広 い大形の割目 (Fig. 24~26, 30~32 など) のあるのが一般的傾向であり、時には、幅が5~ 10 mm に達する巨大な割目を含むことがある。冬季、樹幹の凍裂部を切断すると、その内 部の割目には氷が詰まつているのが普通である (Fig. 31, 32)。 常温において樹幹の凍裂部 から円板を切取り、あるいは製材してみると、冬に比べて、きわめてわずかの割目しか認 めることができない。 通常、凍結狀態で Fig. 33 にみられるような小さな放射狀の割目は 凍結が融解すると非常に見難くなり、見落すことが多い。しかし、これらの割目は、材の 乾燥が進行するにつれて見えるようになつてくる (Fig. 35, 36)。

5) 凍裂が年々繰返されると,正常に生育する立木では,凍裂部に異常肥大的な傷痍 組織が造成され,いわゆる霜腫れを形成する(Fig. 38, 39, 42~44 その他)。霜腫れ部の形態 的性狀は,それが形成される各種の条件によつてことなる(Fig. 48~50)。Fig. 4, 42~47 に, 典型的霜腫れの一例についての観察結果を示す。

6) 樹皮裂 (Fig. 51), 刃物その他による外傷のきずあと (Fig. 52~54), 昆虫の食害の きずあと (Fig. 56, 57) などは, 時に, ある種の癒着した凍裂と外見的に判別しにくいこ とがある。しかし, これらの欠点の内部形態は, 凍裂とは全くことなつたものであり, そ の外部形態も凍裂と区別することができる。

文 献

References

- 石田茂雄: 北海道における凍裂の發生狀況.北大農學部演習林研究報告,15 巻2號,昭和27年, 303~341 頁.
 - SHIGEO ISHIDA: The occurrence of frost crack on forest trees in Hokkaido. Research Bulletins of the College Experiment Forests, College of Agriculture, Hokkaido University. Vol. XV, II, 1952.
- 2) 大澤正之・石田茂雄: 林木の凍裂に關する一考察. 木材工業,昭和22年,1~5頁.

OHSAWA and ISHIDA: The frost crack on trees. Wood Industry. 1947.

3) 石田茂雄: 寒さのために樹木の割れる現象について.低温科學,第5輯,昭和25年,61~73頁.

- SHIGEO ISHIDA: A study on the cracking of trees due to Frost. Low Temperature Science, 5. 1950.
- 4) 加納孟・蕪木自輔: 木材材質の森林生物學的研究(第7報).トドマツに於ける樹皮の形態的特徴に よる材質診斷の可能性. 林業試驗場研究報告,第61號,昭和28年,57~72頁.
 - KANO and KABURAGI: Forest-biological studies on the wood quality. Report 7. Possibility of diagnosing the wood quality by the formal characteristics of bark of Todo-fir. Bulletin of the Government Forest Experiment Station No. 61, 1953.
- 5) 蕪木自輔:木材材質の森林生物學的研究(第1報), 野幌産トドマツ材の生材含水率・容積密度數及び 收縮變形に關する春秋材部別觀察. 林業試驗場研究報告, 第46號, 昭和25年, 37~70頁.
 - ZISUKE KABURAGI: Forest-biological studies on the wood quality. Report 1. On the moisture content, the bulk density of the early- and late-wood of green Todo-fir grown at Nopporo district in Hokkaido and their shrinkage. Report of the Government Forest Experiment Station No. 46, 1950.
- 6) 北村義重: 水喰材の性質について. 北海道林業試驗場時報, 27號, 昭和 16年.
- LAGERBERG, T.: Barrträdens vattved (Wetwood in conifers). Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift, Arg. 35, 177~264.

8) TRENDELENBURG, R.: Das Holz als Rohstoff. (1939).

9) HARTIG, R.: Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten. Dritte Auflage. (1900).

Summary

1) As stated in a previous paper¹) of the present author, many Todo-fir trees (Abies Mayriana and A. sachalinensis) as well as various other species of forset trees are often damaged by frost crack in Hokkaido, Japan. This injury leads not only to exposure to attack by fungi and insects and to the mechanical weakening of the standing timber, but because of accompanying morphological abnormalities such injury seriously degrades logs from the affected part of the tree.

2) Some observations and measurements were made of the morphological abnormalities of the Todo-fir tree trunk having frost crack: viz., (1) the external marks on such tree tunk; (2) the distribution of moisture; (3) the internal cracks appearing in the frost-cracked trunk; (4) the formation of callus tissue and (5) other longitudinal surface defects of trunk from frost crack, the external appearance of which is like that of certain healed frost crack.

3) Frost cracks take place often in connection with some abnormalities of tree trunk, e. g. forked portions (Fig. 5), dead limbs and branches (Fig. 7), scars, broken portions (Fig. 6) of trunk, holes in the trunk or root (Figs. 9, 10), \cdots etc. As recently reported by LAGERBERG, T⁷)., KITAMURA, Y⁶). and ISHIDA, S¹), these characteristics respectively are more or less accompanied by the exposure of the woody tissue of trunk and then these in turn foster the development of so-called "wet wood" inside the trunk.

4) Measurements were carried out on the moisture distribution in the Todo-fir tree trunks in relation to their frost crack. The approximate values were firstly obtained from four sample trees (Fig. I and Table 1). Two of the sample trees had respectively a frost crack and remarkable wet heart i. e. "wet wood" (Tables 1-1

and 1-2), one of the others had remarkable wet wood (Table 1-3) and the last one had very slight wet wood (Table 1-4). Subsequently, the cross sectional distribution of moisture in each of ten disks was measured in detail (Fig. 2, Tables 2 and 3, and Figs. 15 to 26). These disks were taken from different heights with respect to the frost cracks of a trunk which had three main frost cracks extending respectively to different heights above ground. Table 2-1 shows the moisture distribution of a disk in Figure 15. Table 2-2 corresponds to Figure 16, and so forth. Figure 15 (and Table 2-1) give an instance to show the actual distribution of moisture content in these disks; longitudinal (parallel to longitudinal direction of this print) and lateral dotted lines on the Figure 15 are the two diameters passing the tree pith respectively and meeting at right angles. Then, the longitudinal dotted line of Figure 15 corresponds with the longitudinal line inserted between columns H and I. the lateral dotted line corresponds with the line between rows 11 and 12 of Table 2-1.For correspondence between Figures $16 \sim 24$ and Tables $2-2 \sim 2-10$ the method to Figure 15 (and Table 2-1) can be apply though the lines of Figure are not drawn in Figures 16 \sim 24. The high moisture content of Todo-fir wood, its sap- or wet heart-wood are the case, gives a dark-brown colour to the wood, its water being frozen to ice in winter. Consequently, one can separate the higher moisture wood from the surrounding lower moisture wood at low temperature but not at normal temperature (Figs. 11 to 14, and the others). In Figures 15 to 26 representing photographs of disks in a frozen state, the wood having approx. 80 to 100 per cent moisture contents and above are able to be distinguished with the naked eye as a dark-brown.

5) There are many internal cracks in the trunk affected by frost crack. These consist of separations of the wood along the rays also of those occurring between and parallel to the rings of growth in varying sizes. A larger number of them are packed with ice in winter (Figs. 15 to 26 and 31 to 34). One or more of these radial cracks extend toward the periphery of tree stem, reach often the cambium of the tree and then they develop certain callus woody tissue while there is no notable change in the morphology of the bark corresponding to it. It seems possible that these radial cracks extend still more to the surface of the bark, when the necessary conditions for it are satisfied. Further investigations should be done on the mechanism of frost cracking. A number of cracks of small size are visible in the packed ice (Fig. 33, and others), become not easy to see when the ice is thawing (Fig. 35) and then during drying they become gradually visible again to the naked eye (Fig. 36). Some of the results of measurements on the length and the breadth of radial cracks are shown in Table 4. Logs and lumber cut from affected logs are degraded apparently because of the internal cracks.

6) Some macroscopical observations were made of the processes of the callus formation to heal frost crack. Further descriptions of the pathological anatomical characteristics of the callus formation, it is expected, can be reported later on. Figures 38, 39, 27, ... etc. show the cross sectional view of the typical frost rib. Variations from the typical frost rib appear often on the trunk of matured trees or inferior trees (Figs. 48 to 50). The outer surface of the bark of frost rib is characterized by the arrangement of many longitudinal cracks which have arisen yearly because of the opening of the callus tissue developed to heal the bark injured. The external appearance of such bark is shown in Figures 40 and 41. Figure 40 is such bark of a rapidly grown Todo-fir tree while Figure 41 is that of a slow grown tree. An instance of the morphological variability of the frost rib between its base and top, is as shown in Figure 4. The internal crack which is a portion of a frost crack, furthermore, develops a slight callus woody tissue under the normal bark tissue, is to be thought a homology to the crack above mentioned (lines 27 to 32 in page 496). It is not always the case that a frost crack splits over its whole length in a year. According to the number of annual rings after callus formation began, as a rule, there is a tendency that upper and lower parts of a frost crack split late two or three years or longer compared with the middle portion of it.

7) Some longitudinal surface abnormalities of trunks of Todo-fir trees, e.g. cut or scratch scars, "Die Rindenrisse", seams and bark wounds caused by grub injury, ... etc. are often remarkably like certain healed frost cracks in outward appearance. Therefore, there often occur some difficulties to distinguish the two in external appearance. In the internal characteristics, however, striking contrasts differentiate these surface abnormalities from frost cracks.

		Ί	able	2.	Cross th	s-sect e diff	tional ferent	distr heig	ibuti hts c	ions of a	of n fros	noist st-cr	ture acke	con ed To	tent odo-f	(%) ir tr	in d unk	lisks	8, ta	ken	at							
			T	[able	2-1.	\mathbf{Dis}	sk No.	1:	100	cm ł	neigł	nt al	bove	the	gro	und.	$(\mathbf{cf}$	f Fig	g. 15	i).				۰.				
		A]	вс	D	Е	F	GН	I	J	K	L	М	N	0	P	Q	R	s	T	U	V W	/X						
	1								57	66	144	150	165	166														
	2						160	99	59	34	71	70	74	117	165													
	3					178 1	63 172	32	147	116	173	59	73	112	72	160 1	159 1	157										•
	4			192	193	83	31 64	104	166	186	177	134	61	73	107 1	114	871	141 1	168									
	5		20)3 91	79	31	55 52	182	200	201	198	185	100	74	76	66	58	54	148 :	168								
	6	1	84 15	55 30	32	54 1	.04 128	190	179	185	173	183	187	138	141 1	120	58	37	72	102 1	163	•						
	7	146 1	.30 7	74 40	55	161 1	.97 193	182	82	135	139	180	183	182	193	105	58	67	29	61	94 15	3						
	8	126 1	15 20)1 128	103	206 1	.98 170	167	89	165	186	182	186	172	172 1	155	64	63	28	28	31 11	0						
•	9	167	66 18	54 167	169	195 1	85 161	118	105	128	155	162	164	175	109 2	223	62	79	31	29	32 8	9						
	10	179	36 4	41 123	189	177 1	82 161	146	129	84	52	133	97	95	33 1	151	74	79	39	25	35 11	7 146						
	11	188	48 4	10 119	149	167 1	.34 126	123	86	65	47	39	38	35	34	66	54	69	41	28	40 12	3 152						
	12	191	73 4	12 160	140	131 1	42 140	123	157	61	64	36	38	34	37	38	47	47	51	27	94 13	3 151						
	13	202	91 (53 109	165	136 1	80 166	139	178	111	58	8 7	94	32	107	42	41	49	23	32 1	172 17	4 155						
	14	207 1	.37 6	<u>.</u> 59 79	197	179 1	72 175	141	189	74	47	66	110	50	113	55	36	54	54	36 1	158 16	4						
	15	201 1	.87 9	97 113	172	160 1	47 203	56	175	113	125	58	148	155	105	56	53	45	29 I	113 1	172							
	16	2	213 7	77 91	172	112	45 83	196	100	174	156	110	156	163	41	76	47	35	44	163								
	17		20	08 107	72	138	30 47	96	176	116	104	91	51	44	30	35	30	42	155	173								
	18		17	76 206	75	871	34 34	88	157	56	44	46	32	29	33	29	32 1	138	177									
	Í 9			180	179	71 1	140 124	71	194	182	72	30	27	29	162	94	122 1	164										
	20					190 1	180 199	151	90	180	192	77	92	117	151	174	174								1	4		
	21						170	160	110	165	197	194	201												2	6		
								1																				
																		•										
				•																								
																											•	

													-								
	A	B	С	D	Е	F	G	н	I	J	K	\mathbf{L}	М	N	0	Р	Q	R	S	Т	U
1					• .		140	154	141	117	195	202									
2						216	227	163	61	43	101	148	193	201		'					
3					228	98	49	54	30	36	61	64	44	76	159	205					
4				200	200	95	67	46	53	66	117	· 94	96	48	51	113	197				
5			218	56	106	152	170	198	209	205	222	205	105	60	75	62	87	204			
6		239	80	120	164	181	204	191	130	189	220	201	196	73	63	59	48	120	209		
7		191	60	182	183	139	147	135	88	76	145	113	175	149	58	58	103	58	152	199	
8	198	104	72	126	118	97	147	188	172	121	65	90	107	154	114	47	65	76	49	130	191
9	176	44	54	86	94	152	183	188	190	115	71	90	196	199	188	113	54	69	34	77	183
10	166	35	94	109	118	186	154	58	168	90	53	58	72	127	146	149	65	72	55	100	189
11	175	61	142	93	186	198	128	146	114	70	47	136	50	45	54	79	82	84	57	85	185
12	180	126	225	190	198	187	180	168	125	57	54	49	55	42	47	55	64	71	57	101	177
13	204	146	152	159	107	46	149	166	139	92	59	80	94	61	93	53	56	102	47	182	100
14	230	97	193	181	148	163	155	219	94	61	51	52	69	173	123	56	73	90	56	184	189
15	242	97	126	220	224	214	214	211	136	56	50	65	65	112	156	60	79	42	146	193	
16		239	86	126	136	158	178	203	180	80	69	78	61	53	63	69	50	112	195		
17		232	218	51	83	77	101	112	114	67	71	70	83	109	69	75	113	202			
18			232	204	83	52	71	88	92	69	52	54	44	42	47	134	197				
19				185	217	226	182	131	93	101	109	117	151	185	209	198					
20							231	248	237	236	241	244	244	209							

 Table 2-2.
 Disk No. 2:
 160 cm height.
 (cf. Fig. 16)

				Lai			D	106 1			440 (LOID I			8.	± •/•				
	A	В	С	D	Е	F	G	H	I	J	K	L	М	N	0	P	Q	R	s	т	U
1								238	192	68	133	223	217								
2 ′						248	230	133	71	35	48	68	70	152	218	223					
3	2				250	152	79	139	77	94	103	99	158	148	74	157	224				
4				251	136	106	124	124	112	162	188	219	185	209	128	123	115	216			
5			251	164	168	192	134	187	181	188	173	212	220	229	96	115	110	151	223		
6			222	60	158	190	87	106	143	113	122	200	207	97	100	93	112	169	185	214	
7		229	69	137	71	140	78	68	180	204	207	187	173	101	93	75	105	150	118	204	
8		205	45	118	177	168	121	190	217	206	218	205	204	181	196	109	80	111	84	149	199
9		205	140	211	198	156	180	217	200	212	199	220	205	209	214	197	104	106	90	161	213
10	221	164	212	232	193	156	206	226	183	159	214	223	209	209	211	214	162	108	84	138	206
11	231	151	196	240	189	88	113	152	166	158	140	205	196	190	159	213	144	96	77	143	207
12	239	164	108	170	102	93	67	53	86	164	195	212	195	204	208	200	131	88	77	195	213
13		187	80	138	113	94	56	55	71	124	137	109	159	199	195	190	94	93	74	198	
14			222	97	148	172	162	109	94	135	141	91	128	239	189	130	107	78	146	213	
15			246	89	94	110	82	198	211	158	152	190	140	150	151	101	106	70	201	203	
16			249	200	107	59	61	68	84	74	96	75	84	95	124	112	100	148	177		
17				230	233	155	55	60	73	87	78	97	83	105	86	104	112	120			
18						219	170	150	148	104	109	97	124	159	203	193	142				
19								228	228	224	202	240	236	235	208						

Table 2-3. Disk No. 3: 220 cm height. (cf. Fig. 17).

A B C D E F G H 1 J K L M N O P Q R S T 1 230 237 145 137 198 186 186 204 2 244 218 152 111 110 124 102 91 134 219 207 3 238 97 93 108 99 103 163 77 88 104 116 209 211 4 190 98 69 214 61 177 190 282 137 49 98 111 179 208 5 246 127 140 147 139 75 102 125 195 203 182 167 114 138 127 217 201 6 233 197 116 151 141 104 179 218 207 133 152 198 207 132 133 143 142 205 7 214 102 139 116 94 159 215 224 210 173 163 188 191 126 108 127 134 152 197 8 217 156 93 96 87 63 99 218 221 217 256 188 214 186 66 46 85 103 102 191 9 223 167 192 120 65 107 184 223 185 135 211 178 209 162 43 44 73 67 92 184 10 220 111 177 202 108 97 161 192 134 142 183 204 205 167 63 48 91 76 69 185 11 214 78 176 229 171 155 130 106 195 187 200 187 217 158 115 118 81 73 69 186 223 162 172 199 186 65 93 184 206 177 187 191 210 151 160 152 75 64 89 202 12 13 224 198 92 171 155 102 197 203 201 135 164 149 193 201 208 199 64 91 98 199 14 223 107 127 81 127 209 222 211 150 140 170 183 202 199 180 89 56 180 192 15 227 103 132 84 162 209 151 140 174 194 191 192 135 92 68 133 187 16 231 182 73 146 100 101 91 63 106 136 100 111 107 91 63 179 17 219 215 108 84 60 65 80 116 125 147 134 66 81 98 173 18 227 228 171 132 107 114 117 136 165 194 158 19 214 231 227 206 220 217 214

Table2-4. Disk No. 4: 280 cm height. (cf. Fig. 18).

			Tal	ble 2	2-5.	D	isk	No.	5:	340	em ł	neigh	nt.	(cf.	Fig.	19).			
	A.	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	0	Р	Q	R	\mathbf{s}
1						213	230	203	189	205	249	207	221						
2					227	201	126	102	103	106	153	135	145	206					
3			158	196	95	74	97	84	115	113	194	188	143	150	194	206	196		
4	• *	137	178	60	95	83	92	51	75	84	166	138	67	115	126	118	221	202	
5	•	168	55	51	66	116	77	53	123	176	119	88	106	49	81	125	139	220	
6	175	111	60	64	78	121	66	133	226	216	186	128	92	110	51	117	136	154	184
7	207	75	139	152	132	104	61	190	191	197	223	216	172	.149	55	74	141	114	194
8	188	170	200	181	88	90	170	72	68	129	183	217	210	65	65	65	113	115	199
9	186	151	153	148	162	191	149	71	88	73	96	143	187	47	38	80	98	86	191
10	160	98	85	109	182	207	221	114	91	77	127	172	104	44	43	61	108	78	196
11	178	66	91	197	214	217	170	95	178	62	80	179	64	53	67	166	101	100	195
12	206	85	194	226	220	185	166	210	147	84	140	180	136	151	156	89	85	139	196
13	216	119	109	188	220	220	85	73	68	52	187	168	152	188	174	80	108	194	
14		219	107	164	107	154	105	84	59	56	147	155	203	188	97	101	128	201	
15		225	223	120	133	91	150	105	143	66	170	186	162	104	100	76	194		
16			233	194	138	119	104	112	95	72	74	114	108	115	62	140	191		
17				232	227	177	137	144	121	116	117	128	108	125	185	185			
18						229	234	224	217	215	197	216	225	224					
									1										

Table2-6. Disk No.: 6 430 cm height. (cf Fig. 20).

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S

1								279	251	285	247			-					
2					209	236	192	151	164	152	135	196	238	253					
3				246	202	130	128	112	171	240	230	198	132	181	225				
4	,		252	175	121	117	127	92	152	206	241	249	241	129	145	250			
5		298	160	117	77	77	86	73	121	125	175	218	217	121	117	104	247		
6	159	215	118	139	94	105	77	104	137	130	124	150	141	79	95	134	162	228	
7	241	147	104	120	195	107	192	111	169	158	191	143	85	66	63	114	137	215	
8	236	104	104	70	115	144	243	42	73	50	49	222	192	132	80	164	153	178	
9	221	145	175	81	83	91	145	52	74	63	44	166	222	185	99	171	175	136	213
10	217	150	148	73	73	61	136	64	61	68	47	155	242	175	57	71	153	175	201
11	233	130	102	78	69	78	104	22	54	45	52	194	215	104	70	69	147	173	214
12	241	120	72	49	49	65	63	106	114	74	99	203	113	52	54	88	175	176	
13	238	146	73	63	73	96	95	111	81	122	110	107	44	40	56	144	164	225	
14	225	244	105	82	116	102	98	202	48	45	35	36	44	48	75	103	192	220	
15		247	167	98	102	96	87	112	63	169	32	44	45	82	116	86	218		
16			245	159	145	139	100	114	80	49	45	55	97	99	117	96	212		
17				245	175	106	99	117	81	71	72	141	177	132	200	209		. •	
18					231	224	182	143	123	109	131	144	203	211	204				
19								218	219	202	211	216							

Table 2-7. Disk No. 7: 550 cm height. (cf. Fig. 21).

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

164 151 1 2 210 169 93 111 133 132 210 235 235 120 96 105 81 69 95 177 231 3 233 206 155 174 145 181 218 117 78 99 123 233 5 202 188 89 128 197 217 224 229 148 85 60 101 147 248 6 229 192 92 118 159 142 223 207 203 162 101 78 88 157 199 264 7 205 211 136 126 111 56 173 180 98 94 162 228 94 131 122 131 229 8 191 136 119 153 129 71 224 139 99 90 81 193 270 164 99 124 163 . 224 125 100 169 241 154 201 66 97 106 101 148 187 158 182 92 94 219 9 10 232 106 108 155 196 209 193 63 83 106 130 142 218 105 136 77 111 216 228 134 111 176 211 230 146 69 59 87 201 185 210 71 145 104 128 228 11 12242 129 116 213 70 135 99 90 115 162 138 151 133 58 89 117 187 13 239 153 119 194 81 52 62 190 211 222 140 144 157 143 141 160 236 14 225 183 104 122 167 55 50 111 186 201 208 113 106 113 130 185 233 213 114 109 147 75 83 123 99 185 187 165 105 72 113 222 15 16 201 181 88 173 175 102 138 124 149 161 158 89 111 189 228 225 157 143 135 95 100 118 118 104 126 137 166 223 17 18 220 164 123 167 150 107 116 149 187 208 201 19 206 201 197 190 158 146 189 169

Table 2-8. Disk No. 8: 670 cm height. (cf. Fig. 22). A B C D E F G H I J K L M N O P Q R 1 159 209 182 210 216 214 2 234 235 208 140 113 96 93 99 130 180 184 64 3 238 190 139 94 69 93 74 119 117 130 104 133 95 188 4 237 191 117 65 72 71 112 67 70 113 191 229 110 102 221 5 219 237 120 73 71 58 64 80 122 129 171 216 193 180 141 155 215 228 162 137 100 147 116 99 126 165 197 223 218 196 153 208 105 196 164 6 7 236 138 96 113 213 212 87 107 131 203 216 213 228 222 216 132 171 159 8 238 147 91 165 160 209 82 129 163 244 232 222 204 198 186 156 137 103 9 228 119 71 168 191 233 136 244 258 253 229 226 200 197 203 143 125 210 10 224 150 59 141 189 190 138 195 241 240 231 219 232 201 198 82 149 190 11 211 229 198 104 135 144 130 189 163 228 234 246 240 148 109 83 205 12 231 154 68 101 151 132 129 182 184 200 211 191 61 63 119 228 13 231 141 103 109 217 106 59 75 100 101 56 52 125 180 208 14 238 147 145 113 73 50 49 50 49 94 142 140 206 196 220 173 123 83 62 67 97 166 179 207 15 16 211 182 179 171 149 188 210 214 17 218 216 212

		r	[able	2-9).	Disł	s No	. 9:	73	0 cm	hei	ight.	(ct	. Fi	g. 23	3).		
	Δ	R	С	D	E	۲	G	ਸ	т	L.	x	Τ.	м	N	Ο	р	0	R
		. р	Ũ			-	G		•			•••		11	. •	-	પ	
. 1								235	245	248	248	227						
2					242	221	192	146	113	116	133	116	202	250				
3				236	236	104	80	87	85	81	81	91	109	145	219	222	1	
4			238	210	152	82	106	116	181	64	53	74	139	117	147	189	150)
5		221	237	102	61	85	172	143	120	118	121	109	137	155	154	99	126	i
6		230) 178	94	119	169	194	193	146	195	232	233	232	204	146	129	167	196
7	20	8 217	7 113	83	92	218	221	142	114	137	159	228	224	210	149	100	165	203
. 8	20	8 235	5 107	74	179	213	127	106	103	113	112	127	163	106	73	79	158	215
9	16	0 217	7 111	85	222	225	189	128	93	91	146	172	131	84	50	100	169	214
10	17	4 231	115	79	209	228	220	147	139	57	227	213	154	75	55	156	186	203
11	20	8 244	106	73	172	211	136	165	170	222	213	191	102	53	52	166	184	199
12	18	9 235	5 179	70	68	98	78	91	129	193	201	167	74	46	86	175	198	198
13		224	1 260	123	68	83	110	186	104	78	181	84	50	44	129	165	200)
14			246	247	147	113	109	105	110	83	49	39	59	102	159	211		
15				181	244	203	138	123	136	113	102	105	148	159	207			
16						235	237	221	205	196	160	190	215					
										ļ								

•

	Fabl	e 2-	10.	D	isk	No.	10:	79 0	cm	heig	ght.	(cf.	Fig	: 24)	-	•
A	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	\mathbf{L}	М	N	0	Ρ	Q
						177	135	119	92	175						
			Ť.		181	160	152	111	154	140	185	183				
				204	210	143	115	91	120	81	107	19 0	191			
			205	177	130	89	95	102	74	54	75	95	173	188		
		215	160	97	107	93	79	158	165	94	74	86	99	201	108	
	212	200	127	88	127	115	143	205	215	132	106	73	86	103	154	
	216	152	100	187	226	154	182	220	198	218	154	71	187	145	141	196
210	189	9 0	120	228	230	191	161	166	180	185	231	124	119	125	111	179
10	166	79	150	225	235	194	174	91	92	149	242	219	81	129	149	161
06	151	89	152	172	216	233	195	91	101	178	245	226	163	79	153	170
97	176	92	87	104	142	215	237	1 11	126	213	238	218	166	69	139	187
	211	117	90	94	98	170	210	134	122	197	205	198	107	80	121	193
	214	146	107	121	91	74	137	109	85	80	89	96	71	150	139	169
	206	183	81	128	52	53	134	67	76	229	51	54	112	183	201	
		176	97	145	153	64	35	38	44	42	49	127	172	152	207	
			205	19 0	130	124	85	73	88	93	95	100	137	201		
				207	204	186	160	129	110	109	120	163	192			
	A. 10 10 06 97	Tabi A B 212 216 10 189 10 166 06 151 97 176 211 214 206	Table 2- A B C 215 212 200 216 152 10 10 166 79 06 151 89 97 176 92 211 117 214 146 206 183 176	Table 2-10. A B C D 205 215 160 212 200 127 216 152 100 10 189 90 120 10 166 79 150 152 97 176 92 87 211 117 90 214 146 107 206 183 81 176 97 205	Table 2-10. D A B C D E 204 205 177 215 160 97 212 200 127 88 216 152 100 187 10 189 90 120 228 10 187 10 166 79 150 225 106 151 89 152 172 97 176 92 87 104 211 117 90 94 214 146 107 121 206 183 81 128 176 97 145 205 190 207	Table 2-10. Disk A B C D E F 181 204 210 205 177 130 215 160 97 107 212 200 127 88 127 212 200 127 88 127 216 152 100 187 226 10 189 90 120 228 230 10 166 79 150 225 235 06 151 89 152 172 216 97 176 92 87 104 142 211 117 90 94 98 214 146 107 121 91 206 183 81 128 52 176 97 145 153 205 190 130 207 204 207 204 207 204	Table 2-10. Disk No. A B C D E F G 177 181 160 204 210 143 205 177 130 89 215 160 97 107 93 212 200 127 88 127 115 216 152 100 187 226 154 10 189 90 120 228 230 191 10 166 79 150 225 235 194 06 151 89 152 172 216 233 97 176 92 87 104 142 215 211 117 90 94 98 170 214 146 107 121 91 74 206 183 81 128 52 53 176 97 145	Table 2-10. Disk No. 10: A B C D E F G H 177 135 181 160 152 204 210 143 115 204 210 143 115 205 177 130 89 95 215 160 97 107 93 79 212 200 127 88 127 115 143 216 152 100 187 226 154 182 10 189 90 120 228 230 191 161 10 166 79 150 225 235 194 174 106 151 89 152 172 216 233 195 97 176 92 87 104 142 215 237 211 117 90 94 98 170 210 <	Table 2-10. Disk No. 10: 790 A B C D E F G H I 177 135 119 181 160 152 111 204 210 143 115 91 205 177 130 89 95 102 215 160 97 107 93 79 158 212 200 127 88 127 115 143 205 216 152 100 187 226 154 182 220 10 189 90 120 228 230 191 161 166 10 166 79 150 225 235 194 174 91 06 151 89 152 172 216 233 195 91 97 176 92 87 104 142 215 237 <td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm A B C D E F G H I J 177 135 119 92 181 160 152 111 154 204 210 143 115 91 120 205 177 130 89 95 102 74 215 160 97 107 93 79 158 165 212 200 127 88 127 115 143 205 215 216 152 100 187 226 154 182 220 198 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 10 166 79 150 225 235 194 174 91 92 06 151 89 152 172 216 233 195 91 101 97 176 92 87 104 142</td> <td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm heig A B C D E F G H I J K 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 204 210 143 115 91 120 81 205 177 130 89 95 102 74 54 215 160 97 107 98 79 158 165 94 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 216 152 100 187 226 154 182 200 198 218 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 10 166 79 150 225 235 194 174 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. A B C D E F G H I J K L 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 204 210 143 115 91 120 81 107 205 177 130 89 95 102 74 54 75 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 10 166 79 150 225 235 194 174 91 92 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. A B C D E F G H I J K L M 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 124 10</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. A B C D E F G H I J K L M N 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 10 189 90 120 228 230 191 161 166 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24) A B C D E F G H I J K L M N O 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 10 189 90 120</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24). A B C D E F G H I J K L M N O P 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 108 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 154 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 141 10 189</td></t<></td></t<></td></t<></td>	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm A B C D E F G H I J 177 135 119 92 181 160 152 111 154 204 210 143 115 91 120 205 177 130 89 95 102 74 215 160 97 107 93 79 158 165 212 200 127 88 127 115 143 205 215 216 152 100 187 226 154 182 220 198 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 10 166 79 150 225 235 194 174 91 92 06 151 89 152 172 216 233 195 91 101 97 176 92 87 104 142	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm heig A B C D E F G H I J K 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 204 210 143 115 91 120 81 205 177 130 89 95 102 74 54 215 160 97 107 98 79 158 165 94 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 216 152 100 187 226 154 182 200 198 218 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 10 166 79 150 225 235 194 174 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. A B C D E F G H I J K L 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 204 210 143 115 91 120 81 107 205 177 130 89 95 102 74 54 75 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 10 166 79 150 225 235 194 174 91 92 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. A B C D E F G H I J K L M 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 124 10</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. A B C D E F G H I J K L M N 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 10 189 90 120 228 230 191 161 166 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24) A B C D E F G H I J K L M N O 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 10 189 90 120</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24). A B C D E F G H I J K L M N O P 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 108 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 154 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 141 10 189</td></t<></td></t<></td></t<>	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. A B C D E F G H I J K L 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 204 210 143 115 91 120 81 107 205 177 130 89 95 102 74 54 75 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 10 166 79 150 225 235 194 174 91 92 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. A B C D E F G H I J K L M 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 124 10</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. A B C D E F G H I J K L M N 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 10 189 90 120 228 230 191 161 166 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24) A B C D E F G H I J K L M N O 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 10 189 90 120</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24). A B C D E F G H I J K L M N O P 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 108 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 154 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 141 10 189</td></t<></td></t<>	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. A B C D E F G H I J K L M 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 10 189 90 120 228 230 191 161 166 180 185 231 124 10	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. A B C D E F G H I J K L M N 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 10 189 90 120 228 230 191 161 166 <t< td=""><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24) A B C D E F G H I J K L M N O 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 10 189 90 120</td><td>Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24). A B C D E F G H I J K L M N O P 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 108 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 154 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 141 10 189</td></t<>	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24) A B C D E F G H I J K L M N O 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 10 189 90 120	Table 2-10. Disk No. 10: 790 cm height. (cf. Fig. 24). A B C D E F G H I J K L M N O P 177 135 119 92 175 181 160 152 111 154 140 185 183 204 210 143 115 91 120 81 107 190 191 205 177 130 89 95 102 74 54 75 95 173 188 215 160 97 107 93 79 158 165 94 74 86 99 201 108 212 200 127 88 127 115 143 205 215 132 106 73 86 103 154 216 152 100 187 226 154 182 220 198 218 154 71 187 145 141 10 189

•

.

圖版(Fig. 5~57)の説明

rig. 5:	又本の凍裂
Fig. 6:	樹幹の折損部の凍裂
Fig. 7:	太い枯枝の着生部の凍裂
Fig. 8:	基幹部の凍裂
Fig. 9:	主根の一本に見られる孔状部
Fig. 10:	Fig. 9 の擴大
Fig. 11:	水喰材丸太から製材した板 (製材した順番に展開), 凍裂なし
Fig. 12:	凍裂丸太から製材した板 (展開)
Fig. 13:	同 上. 板の No. 13 の下方にひいた黑線の位置に凍裂あり
Fig. 14:	Fig. 13 の板の1枚の1部の擴大
Fig. 15:	凍裂樹幹から切り取つた圓板 (Disk No. 1, 地上高 100 cm, 含水率分布については
	Tab. 2-1 參照)
Fig. 16:	同 上 (Disk No. 2, 地上高 160 cm, Tab. 2-2 參照)
Fig. 17:	同上(〃 3, 〃 220 cm, 〃 2-3 〃)
Fig. 18:	同上(〃 4, 〃 280 cm, 〃 2-4 〃)
Fig. 19:	同上(〃 5, 〃 340 cm, 〃 2-5 〃)
Fig. 20:	同上(〃 6, 〃 430 cm, 〃 2-6 〃)
Fig. 21:	同上(〃 7, 〃 550 cm, 〃 2-7 〃)
Fig. 22:	同上(〃 8, 〃 670 cm, 〃 2-8 〃)
Fig. 23:	同上(<i>11</i> 9, <i>11</i> 730 cm, <i>11</i> 2-9 <i>1</i> 1)
Fig. 24:	同上(〃 10, 〃 790 cm, 〃 2-10 〃)
Fig. 25:	同 上 (地上高 940 cm)
Fig. 26:	同 上 (地上高 1030 cm)
Fig. 27:	完全に癒着した凍裂のある圓板
Fig. 28:	完全に癒着した凍裂となお裂開中の凍裂とを有する圓板
Fig. 29:	同上の圓板の1部
Fig. 30:	巨大な周圍釈割れ
Fig. 31:	氷のつまつている割目 (A)
Fig. 32:	同上.(B)
Fig. 33:	老大木の, 基幹部の陳裂材によく見られる, 多数の, 集合した放射状割れ
Fig. 34 :	凍裂丸太の縦斷面に現われた割目 (周圍狀割れ)
Fig. 35:	凍裂丸太から製材した板(製材直後で生材)
Fig. 36:	同 上 (乾燥後, 割目がよく見えるようになつた狀態)
Fig. 37:	人工乾燥の過程において,樹脂を溢出した多數の割目. 凍裂は既に癒着が完了し
	ており,加熱前は,これらの割目はほとんどみえなかつた.
Fig. 38:	凍裂の傷痍組織の形成(材部)
Fig. 39:	典型的な霜腫れの橫斷面
Fig. 40:	霜 腫れの樹皮部 (片側) (A)
Fig. 41:	同····································

Fig. 42:	Fig. 4 參照
Fig. 43:	同上
Fig. 44 :	同上
Fig. 45 :	同上
Fig. 46 :	同上
Fig. 47 :	同上
Fig. 48 :	凹溝状をなす凍裂
Fig. 49:	割目が蛇行状をなす凍裂
Fig. 50:	一満斷面に多數の凍裂があらわれた例
Fig. 51:	樹皮裂
Fig. 52:	双物による切傷の痕跡
Fig. 53:	同上の橫斷面, Fig. 52 の A 部切斷
Fig. 54:	同 上, Fig. 52 の B 部切斷
Fig. 55:	樹皮面の擦り傷
Fig. 56:	昆虫の食害に基づく樹幹表面の傷
Fig. 57:	同上の橫斷面, 矢印部の内方に, 虫糞のつまつた食害孔がみられる

Explanation of figures 5-57

(These figures are photographs on the frost crack of Todo-fir) Fig. 5. Two frost cracks on the trunk of a forked Todo-fir tree. Fig. 6. Frost cracks in connection to broken wound of a tree trunk. Two frost cracks in connection to dead branches on a tree trunk. Fig. 7. Fig. 8. A frost crack appearing in the basal portion of tree trunk. Two roots of Todo-fir tree with frost crack at the butt. One of them has Fig. 9. a hole (enclosed with a circle). Magnified view of the part enclosed with the circle in Fig. 9. Fig. 10. A number of boards, into which a Todo-fir log with wet wood were sawn Fig. 11. "through and through," and which were put in the sawing order. Fig. 12. Do. A case of a log with a frost crack extending over the entire length between both end surfaces. Wetwood is enclosed with black line in Figs. 11, 12. Do. A case of a log with a frost crack of about one meter long from Fig. 13. the butt end. A magnified view of a portion of one of the boards shown in Fig. 13. Fig. 14. Figs. 15-26. The disk cut up from a Todo-fir trunk with frost cracks at the different heights above ground. Fig. 15. Disk No. 1; 100 cm height from ground. cf. Tab. 2-1. Fig. 16. ,, No. 2: 160 cm ,, 2-2.Fig. 17. ,, No. 3; 220 cm ,, 2-3.Fig. 18. No. 4: 280 cm 2-4. ,, Fig. 19. No. 5; 340 cm 2-5.,, ,, Fig. 20. No. 6; 430 cm 2-6.,, ,, ,, Fig. 21. " No. 7; 550 cm 2-7.Fig. 22. No. 8; 670 cm 2-8.22 ,, Fig. 23. ,, No. 9; 730 cm ,, 2-9. Fig. 24. No. 10; 790 cm 2-10. " Fig. 25. 940 cm Fig. 26. 1030 cm Fig. 27. A disk including perfectly healed frost crack. Fig. 28. Perfectly healed crack (B) and not healed crack (A) in a disk. Fig. 29. A portion of the same disk as that in Fig. 28.

- Fig. 30. A large cup shake.
- Fig. 31. Ice-packed cracks (A).

Fig. 32. Do. (B).

Fig. 33. Very large number of small cracks appearing often in wood of the basal portion of trunk of mature tree.

Fig. 34. Many longitudinal cracks appearing at the surface of a sawn board from

a frost cracked Todo-fir trunk.

Fig. 35. A appearance of a sawn board surface from a frost cracked Todo-fir trunk; Green condition, cracks invisible.

Fig. 36. Do.; After air seasoning, many cracks visible.

Fig. 37. Many cracks oozing with resin, during drying.

Fig. 38. Cullus woody tissue of frost crack.

Fig. 39. Cross sectional view of a normal frost rib.

Fig. 40. View of the bark of frost rib (A)

Fig. 41. Do. (B)

Figs. 42-47. See Fig. 4.

Fig. 48. A longitudinal depressed frost crack.

Fig. 49. A frost crack presenting an appearance of serpentine windings.

Fig. 50. A number of frost cracks placed on the different bearings in a disk.

Fig. 51. Bark crack on the surface of a trunk.

Fig. 52. A cut scar healed by cullus tissue of a trunk.

Fig. 53. cross sectional surface of the cut scar in Fig. 52 (A).

Fig. 54. Do. (B).

Fig. 55. A scratch scar on the surface of a trunk.

Fig. 56. Wound of bark caused by grub injury in sapwood of a living tree.

Fig. 57. The cross sectional view of Fig. 56





Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.





Fig. 8.



Fig. 9. $(1/10 \times)$



Fig. 10. $(2/5 \times)$





Fig. 11.



Fig. 12.





Fig. 13.



Fig. 14. $(1/5 \times)$



Fig. 15. (1/4.6×) Disk No. 1

Fig. 16. (1/4.6×) Disk No. 2



Fig. 17. (1/4.6×) Disk No. 3



Fig. 18. (1/4.6×) Disk No. 4

Plate 6



Fig. 19. (1/4.6×) Disk No. 5



Fig. 20. (1/4.6×) Disk No. 6



Fig. 21. (1/4.6×) Disk No. 7



Fig. 22. (1/4.6×) Disk No. 8

Plate 7



Fig. 23. (1/4.6×) Disk No. 9



Fig. 24. (1/4.6×) Disk No. 10



Fig. 25. (1/4.6×) Disk No. 11



Fig. 26. (1/4.6×) Disk No. 12





Fig. 27. $(1/3 \times)$





Fig. 28. $(1/7 \times)$



Fig. 29. $(1/3.5 \times)$



Fig. 30. $(1/1.5 \times)$

Plate 10



Fig. 31. $(2 \times)$



Fig. 32. $(1/2 \times)$



Fig. 33. $(1/3.5 \times)$



Fig. 34. (1/6×)





Fig. 35. $(1/3 \times)$



Fig. 36. (1/3×)





Fig. 37. (1×)

Fig. 38. $(4 \times)$





Fig. 39. (1×)



Fig. 40. $(1 \times)$



Fig. 41. $(1 \times)$





Fig. 42. $(1/2.2\times)$

Fig. 43. $(1/2.2\times)$



Fig. 44. $(1/2.2 \times)$





Fig. 45. $(2\times)$



Fig. 46. $(2 \times)$



Fig. 47. $(2\times)$

Plate 16



Fig. 48.



Fig. 49.



Fig. 50. $(1/3 \times)$





Fig. 51. $(1/3 \times)$



Fig. 52. $(1/1.5 \times)$



Fig. 53. $(1 \times)$



Fig. 54. $(1 \times)$





Fig. 55.



Fig. 56. $(1/2 \times)$



Fig. 57. $(1/2 \times)$