



Title	トドマツ樹幹の凍裂の形態について
Author(s)	石田, 茂雄; ISHIDA, Shigeo
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	https://hdl.handle.net/2115/20723
Type	departmental bulletin paper
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

I	緒言	474
II	トドマツ凍裂木の外部形態的特徴	474
III	凍裂幹材部の形態的性状	475
III・1	凍裂幹材部の水分分布	475
III・1・1	凍裂木の含水率の測定	475
III・1・2	凍裂の癒着と含水率	484
III・2	凍裂幹材部の内部割れ	485
III・2・1	含有水分の凍結状態における内部割れ	485
III・2・2	常温における内部割れ	488
III・3	霜腫れの性状	489
III・3・1	凍裂の初期	489
III・3・2	典型的な霜腫れの形成	489
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	492
IV・2	外傷	493
IV・3	昆虫の食害	493
V	要結	493
	文献	494
	Summary	495
	図版	509

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)如何なる形態的性状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状を詳細に検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、傷痕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。

凍裂の傷痕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、その凍裂と関連づけられるような他の何らかの形態的特徴を持つていであろうか。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・老齡木には多種類の欠点が発生しており²⁾、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 Stammpерiphery 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状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状況調査の資料から, 関係数値を抽出してみると,

幹の分叉に関連する凍裂のある凍裂木	30 本 (Fig. 5 参照)
幹の折損部に関連する凍裂のある凍裂木	15 本 (Fig. 6 参照)
幹の側面の孔状部に関連する凍裂のある凍裂木	10 本
太い枝特に枯枝に関連する凍裂のある凍裂木	20 本 (Fig. 7 参照)

ここに掲げたのは, 凍裂木の数であつて, 凍裂そのものの数は更に多くなる。例えば, Fig. 7 の凍裂木の向つて右側に更に 1 つの凍裂があり, また Fig. 6 の樹幹の損傷部の直ぐ下には, 大小数個の凍裂がある。Fig. 5 のような場合は, 写真に見えている凍裂の反対側のほぼ同じ高さの位置に, 更に他の凍裂が発生する場合がある。これらの樹幹上の欠点と凍裂との関係は, 実は単なる外見的なものではなく, 内部形態的關係, 更には, 両者の間の因果的關係に基づいているものと考えられる (この点については後述する)。

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) の根にみられた孔状部の写真である。小径被圧の凍裂木について, ほかに, もう 1 例, ほぼ同様な状態を観察した。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、旭川管林局上川管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	胸高直径 (cm)	樹 高 (m)	樹 齢 (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10 m 附近に軽度の心材腐朽あり

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5 cm)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、髓を通り、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)について髓から辺材に向つて、距離1 cm 毎に順次 $1 \times 1 \times 5 \text{ cm}^3$ 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 cm^2 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 附近まで髓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状を呈するようになった。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状態と考えられる。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水で満たされることが比較的にすくなかつたと云える。

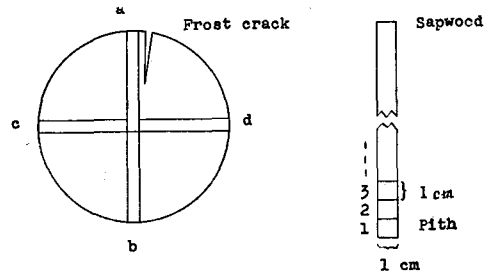


Fig. 1. Sketch showing method of cutting up specimens for measuring moisture distribution in a disk.

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

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

Height from ground (m)	Radius	Distance from pith (cm)																	Width of crack in temperature of -5°C (mm)	
		1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18
0.3	a	200	199	229	223	186	165	100	49	45	42	39	46	42	43	130	173	163	3.10	
	b	180	127	185	158	162	151	37	27	31	27	32	33	145	173	176	180			
	c	191	180	229	218	147	92	63	66	46	25	32	43	186	175	176				
	d	188	188	158	218	196	146	66	40	42	41	27	23	31	27	51	172	181		193
0.5	a	222	233	202	177	194	171	190	139	63	41	35	40	38	36	46	118	169	198	3.35
	b	228	178	182	126	68	48	35	31	27	25	35	184	175	190					
	c	235	193	196	87	52	50	83	43	40	46	53	52	249	180	169	182			
	d	229	218	130	134	110	98	53	50	30	35	33	36	57	129	168	186			
0.9	a	235	200	145	150	120	56	52	46	53	44	38	34	43	86	176	186	178	3.00	
	b	205	180	120	135	68	59	55	34	48	57	80	178	183	190					
	c	114	148	192	217	229	134	138	167	143	162	94	66	40	33	29	40	188		183
	d	217	192	148	114	113	45	59	73	60	36	43	37	32	142	175	180			
1.3	a	193	223	98	55	52	45	58	66	59	46	83	116	203	176	171	1.75			
	b	160	116	117	163	157	149	100	79	68	49	33	45	184	191	196				
	c	159	220	183	191	119	97	90	57	41	43	205	199	180						
	d	159	106	107	78	85	96	90	54	92	58	54	58	33	160	176		186		
1.9	a	175	130	100	80	98	79	66	58	57	61	28	37	188	190	193	1.05			
	b	170	110	164	125	90	67	76	91	74	87	65	51	185	192	178				
	c	165	115	136	98	125	170	100	63	79	60	183	193	191						
	d	145	105	70	55	63	62	62	50	65	47	47	66	186	211	196				
2.1	a	127	153	126	96	157	92	87	89	64	65	72	147	188	165	165	1.00			
	b	92	77	63	66	64	53	56	48	53	36	56	201	190	197					
	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	0.00		
	b	51	49	50	61	69	62	86	66	47	27	180	187	220						
	c	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	193	193					
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	143	133	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								

* This specimen includes pith, and so forth.

供試木 No. 4 は上の 3 本に比べて、水喰材は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變つて、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わらない。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區別できるようになる。もつとも、この區別は、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“グラ挽き”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状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状態を示す。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、伐採当時の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、内部の状態がよくわかる。

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、円板面の肉眼的性状(写真によつて示す)に関連させて、その水分分布を検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附近で二叉に分れるが、この二叉部の直ぐ下の12 mから13 mの間の樹幹は、癒傷部、腐朽部、孔状部などを含み、複雑きわまる形態を示す。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、断面の形態的性状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 $1.5 \times 1.5 \times 3 \text{ cm}^3$ 、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、図に示される髓を含む2つの直交する直径(この印刷の縦方向と横

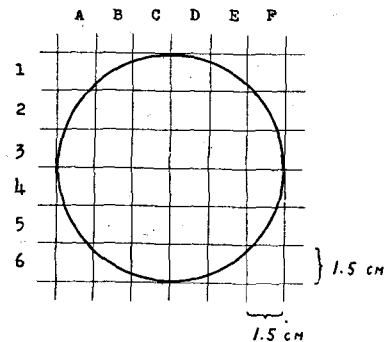


Fig. 2. Sketch showing method of cutting up specimens for measuring whole cross sectional distribution of moisture content in a disk (a case of a disk of 9 cm diameter).

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(交点が髓)を相対応するよう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, 円板の凍結状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色部が, 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状に影響されるが, 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。

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)

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

* 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（髓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 の円板は全般的に 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、 $1.5 \times 1.5 \times 3 \text{ cm}^3$ 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

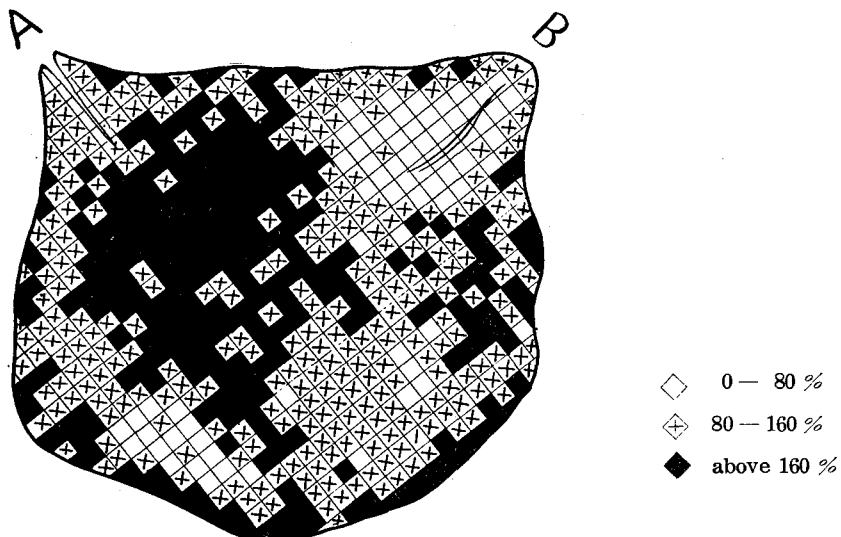


Fig. 3. Distribution of moisture in a disk with both perfectly healed crack (showing by B) and not healed (A). (cf. Fig. 28)

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事ができた。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、冬季間には水をみたくしている。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 含有水分の凍結状態における内部割れ 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、外部から髓心方向に侵入する、最大の割目としての凍裂があり、その外に多くの放射状の割目と周囲状の割目とがある。これらの放射状割れと周囲状割れの或るものが凍裂に接続し、曲折して髓心方向に向う。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髓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状態を示すのが普通である。

基幹部の放射状割れの大部分は、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痕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、やや大きな放射状割れが目についた (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 から分るように、この附近の樹幹では、凍裂、放射状割れ、周囲状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 は円板の凍結状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、円板はバラバ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、孔状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る (Fig. 26)、また、ある場合には巨大な周囲状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、周囲状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。放射状割れ、周囲状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。周囲状割れは、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、傷痕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、周囲状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。放射状の割目は、髓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

凸レンズ状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、著しく水分の低い状態を呈している。

凍裂部樹幹の放射状割れの大きさと、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、凍裂のある基幹部材部の放射状割れについてその大きさを測定した一例を示す (Table 4)。

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

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

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

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) Maximum 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

(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).

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

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ことはないが、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。この状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状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状（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、放射状割れや周囲状割れがみられるが、凍結状態でみられた、おびただしい数の、小さな放射状割れは (Fig. 33)、大部分が非常に見にくい、あるいは全く見るができない。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、幅の広い放射状割れ、周囲状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。

* 樹幹の切断の前と後において割目の状態が変化することは常温に限らない。低温においてもしばしば観察される。

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、凍結状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、それまで見えなかつた割目と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%に乾燥した状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 霜腫れの性状

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。したがって、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、凍裂部にできる傷痕組織の内方には多くの傷痕樹脂溝が造られ、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ってくる。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、わずかながら傷痕樹脂溝の形成と、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の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、かつ傷痕樹脂溝を造成する。この生長期が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状となり、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ては、実験的なお問題があるが、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、癒着の繰返し年数をはるかに短かく、かつ Fig. 41 に比べて、すくなくとも霜腫れ材部の生長を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っている)。

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变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状態から脱し、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、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附近においても傷痕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状態は、前に (486頁20行目) 述べた放射状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状割れの存在、異常生長材部の存在、傷痕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、特に傷痕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、立木が被圧状態にあるにかかわらず、凍裂部分には盛んに傷痕組織を造成し、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

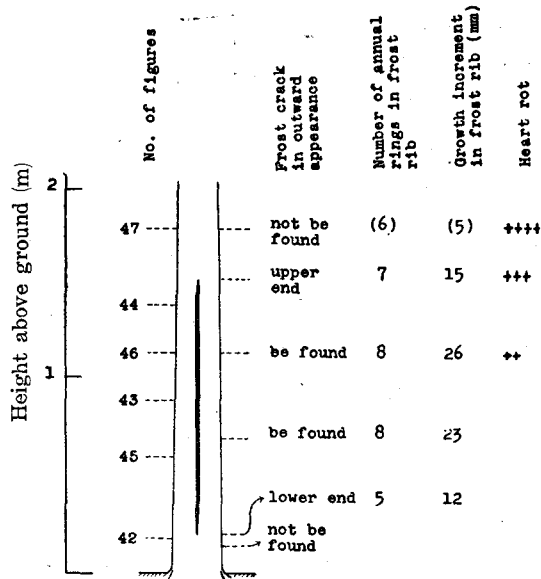


Fig. 4. Schematic drawing illustrating outward appearance of the frost crack on a tree trunk and some descriptions on it.

するようになった。この状態は、被圧小径凍裂木にしばしばみられる状態である。

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痕組織であり、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、その部分が突起状をなさず、かえつて凹溝状をなすことがある (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状をなすが、しからざる場合には割目は不規則な形をなし、蛇行状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状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、不正常的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じることもある。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検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、不正常的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 (鉋のようなもの) 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韌皮組織がみられ、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っており、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、樹皮の粗糙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、虫糞がたまっている (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、内外部形態的性状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、孔状部、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) 凍裂木の樹幹内水分分布を、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状態を示す。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(暗褐色部)の分布などの肉眼的に認識される円板の状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、放射状及び周囲状の割目で、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状、周囲状割れと、きわめて多数の、小形の放射状割れ (Fig. 33, Table 4) がある。これに対し、樹幹上部部の、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っ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、凍結状態で Fig. 33 にみられるような小さな放射状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ってくる (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痕組織が造成され、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状は、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)、双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

- 1) 石田茂雄：北海道における凍裂の発生状況。北大農学部演習林研究報告，15 卷 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：林木の凍裂に関する一考察。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. 低温科学, 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断の可能性. 林業試験場研究報告, 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・容積密度数及び收縮變形に關する春秋材部別觀察. 林業試験場研究報告, 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. 北海道林業試験場時報, 27號, 昭和16年.
- 7) 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 forest 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 trunk; (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), etc. As recently reported by LAGERBERG, T²⁾, KITAMURA, Y³⁾, and ISHIDA, S⁴⁾, 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 16~24 and Tables 2-2~2-10 the method to Figure 15 (and Table 2-1) can be apply though the lines of Figure are not drawn in Figures 16~24. 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.

Table 2. Cross-sectional distributions of moisture content (%) in disks, taken at the different heights of a frost-cracked Todo-fir trunk.

Table 2-1. Disk No. 1: 100 cm height above the ground. (cf Fig. 15).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	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	163	172	32	147	116	173	59	73	112	72	160	159	157						
4			192	193	83	31	64		104	166	186	177	134	61	73	107	114	87	141	168					
5		203	91	79	31	55	52		182	200	201	198	185	100	74	76	66	58	54	148	163				
6	184	155	30	32	54	104	128		190	179	185	173	183	187	138	141	120	58	37	72	102	163			
7	146	130	74	40	55	161	197	193	182	82	135	139	180	183	182	193	105	58	67	29	61	94	153		
8	126	115	201	128	103	206	198	170	167	89	165	186	182	186	172	172	155	64	63	28	28	31	110		
9	167	66	154	167	169	195	185	161	118	105	128	155	162	164	175	109	223	62	79	31	29	32	89		
10	179	36	41	123	189	177	182	161	146	129	84	52	133	97	95	33	151	74	79	39	25	35	117	146	
11	188	48	40	119	149	167	134	126	123	86	65	47	39	38	35	34	66	54	69	41	23	40	123	152	
12	191	73	42	160	140	131	142	140	123	157	61	64	36	38	34	37	38	47	47	51	27	94	133	151	
13	202	91	63	109	165	136	180	166	139	178	111	58	87	94	32	107	42	41	49	23	32	172	174	155	
14	207	137	69	79	197	179	172	175	141	189	74	47	66	110	50	113	55	36	54	54	36	158	164		
15	201	187	97	113	172	160	147	203	56	175	113	125	58	148	155	105	56	53	45	29	113	172			
16	213	77	91	172	112	45	83		196	100	174	156	110	156	163	41	76	47	35	44	163				
17		208	107	72	138	30	47		96	176	116	104	91	51	44	30	35	30	42	155	173				
18		176	206	75	87	134	34		88	157	56	44	46	32	29	33	29	32	138	177					
19			180	179	71	140	124		71	194	132	72	30	27	29	162	94	122	164						
20					190	180	199		151	90	180	192	77	92	117	151	174	174							
21								170	160	110	165	197	194	201											

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	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	134	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 2-3. Disk No. 3: 220 cm height. (cf. Fig. 17).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1									238	192	68	133	223	217								
2						248	230	133	71	35	48	68	70	152	218	223						
3				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							

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	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	183	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	133	204	205	167	63	48	91	76	69	185
11	214	73	176	229	171	155	130	106	195	187	200	187	217	153	115	118	81	73	69	186
12	223	162	172	199	136	65	93	134	206	177	187	191	210	151	160	152	75	64	89	202
13	224	193	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	133	202	199	130	89	56	130	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	153				
19							214	231		227	206	220	217	214						

Table 2-5. Disk No. 5: 340 cm height. (cf. Fig. 19).

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

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	235 247									
2					209	236	192	151	164	152	135	196	238	253					
3				246	202	130	128	112	171	240	230	193	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	73	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						
1									164	151														
2									210	169	98	111	133	132	210									
3									235	235	120	96	105	81	69	95	177	231						
4									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							
9	224	125	100	169	241	154	201	66	97	106	101	148	187	158	182	92	94	219						
10	232	106	108	155	196	209	193	63	83	106	130	142	218	105	136	77	111	216						
11	228	134	111	176	211	230	146	69	59	87	201	185	210	71	145	104	128	228						
12	242	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							
15		213	114	109	147	75	83	123	99	185	187	165	105	72	113	222								
16		201	181	88	173	175	102	138	124	149	161	158	89	111	189	228								
17										225	157	143	135	95	100	118	118	104	126	137	166	223		
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	
6	223	162	137	100	147	116	99	126	165	197	223	218	196	153	208	105	196	164
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	163	191	233	136	244	253	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	143	109	83	205	
12		231	154	63	101	151	132	129	182	184	200	211	191	61	63	119	223	
13			231	141	103	109	217	106	59	75	100	101	56	52	125	180	208	
14				233	147	145	113	73	50	49	50	49	94	142	140	206		
15					196	220	173	123	83	62	67	97	166	179	207			
16							211	182	179	171	149	188	210	214				
17									213	213	216	212						

Table 2-9. Disk No. 9: 730 cm height. (cf. Fig. 23).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
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								
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								
6		230 178 94 119 169 194 193 146								195 232 233 232 204 146 129 167 196								
7	208 217 113 83 92 218 221 142 114									137 159 228 224 210 149 100 165 203								
8	208 235 107 74 179 213 127 106 103									113 112 127 163 106 73 79 158 215								
9	160 217 111 85 222 225 189 128 93									91 146 172 131 84 50 100 169 214								
10	174 231 115 79 209 228 220 147 139									57 227 213 154 75 55 156 136 203								
11	208 244 106 73 172 211 136 165 170									222 213 191 102 53 52 166 134 199								
12	189 235 179 70 68 98 78 91 129									193 201 167 74 46 86 175 198 198								
13		224 260 123 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								

圖版 (Fig. 5~57) の説明

- Fig. 5: 二又木の凍裂
 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 の下方にひいた黒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った圓板 (Disk No. 1, 地上高 100 cm, 含水率分布については Tab. 2-1 参照)
 Fig. 16: 同 上 (Disk No. 2, 地上高 160 cm, Tab. 2-2 参照)
 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 (" 9, " 730 cm, " 2-9 ")
 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: 巨大な周圍狀割れ
 Fig. 31: 氷のつまっている割目 (A)
 Fig. 32: 同 上 (B)
 Fig. 33: 老木木の, 基幹部の凍裂材によく見られる, 多數の, 集合した放射狀割れ
 Fig. 34: 凍裂丸太の縱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った状態)
 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: 凍裂の傷痕組織の形成 (材部)
 Fig. 39: 典型的な霜腫れの横斷面
 Fig. 40: 霜腫れの樹皮部 (片側) (A)
 Fig. 41: 同 上 (B)

- Fig. 42:** Fig. 4 参照
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: 一横断面に多数の凍裂があらわれた例
Fig. 51: 樹皮裂
Fig. 52: 刃物による切傷の痕跡
Fig. 53: 同上の横断面, Fig. 52 の A 部切断
Fig. 54: 同 上, Fig. 52 の B 部切断
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: 同上の横断面, 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.
- Fig. 7. Two frost cracks in connection to dead branches on a tree trunk.
- Fig. 8. A frost crack appearing in the basal portion of tree trunk.
- Fig. 9. Two roots of Todo-fir tree with frost crack at the butt. One of them has a hole (enclosed with a circle).
- Fig. 10. Magnified view of the part enclosed with the circle in Fig. 9.
- Fig. 11. A number of boards, into which a Todo-fir log with wet wood were sawn "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.
- Fig. 13. Do. A case of a log with a frost crack of about one meter long from the butt end.
- Fig. 14. A magnified view of a portion of one of the boards shown in Fig. 13.
- 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. |
| 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

Plate 1



Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.

Plate 2

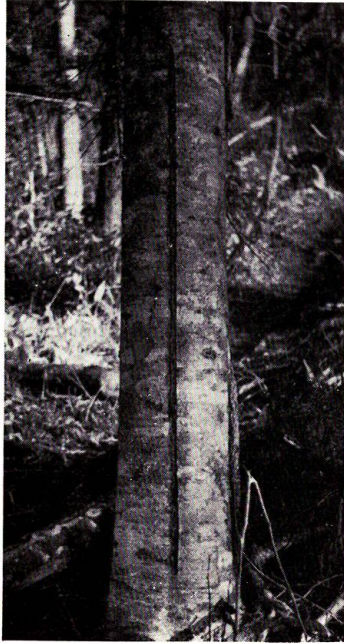


Fig. 8.



Fig. 9. (1/10×)



Fig. 10. (2/5×)



Fig. 11.

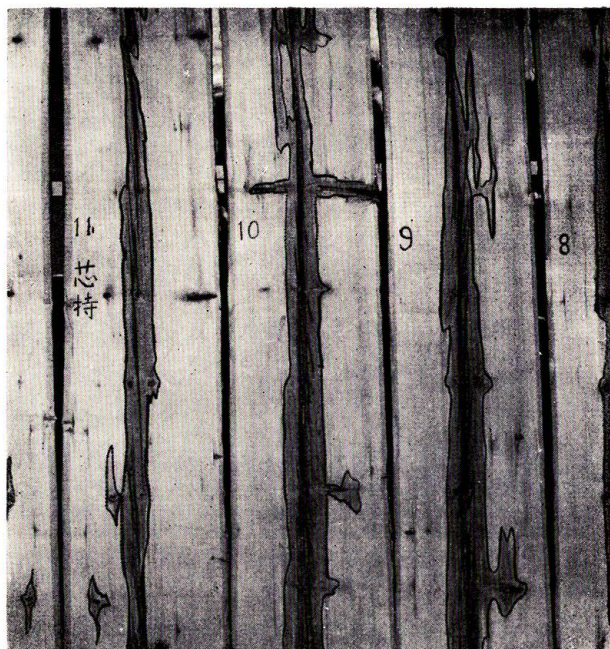


Fig. 12.

Plate 4

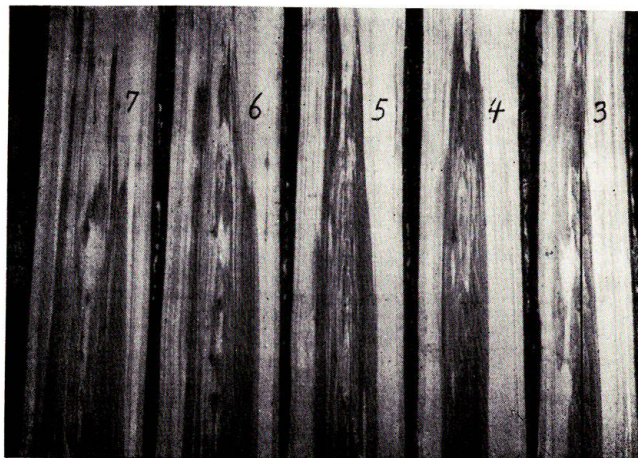


Fig. 13.

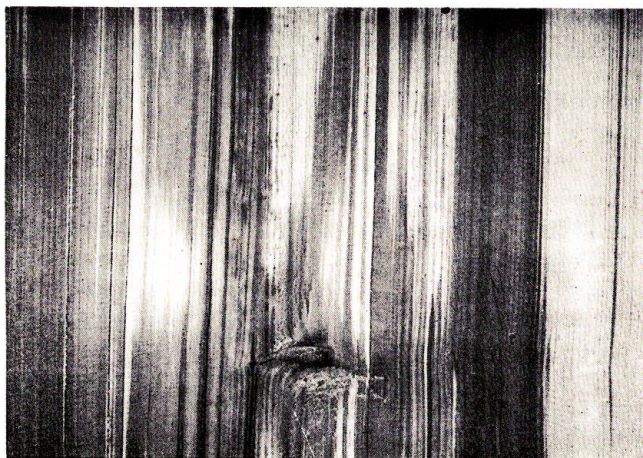


Fig. 14. (1/5×)

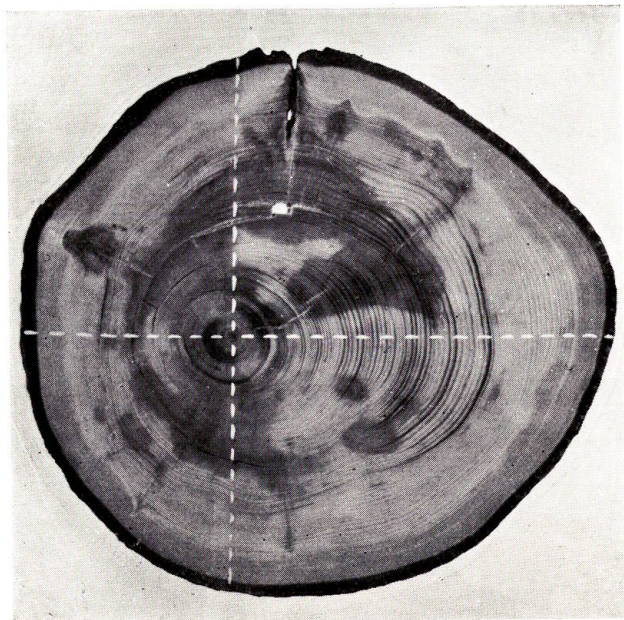


Fig. 15. (1/4.6×)
Disk No. 1



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×)

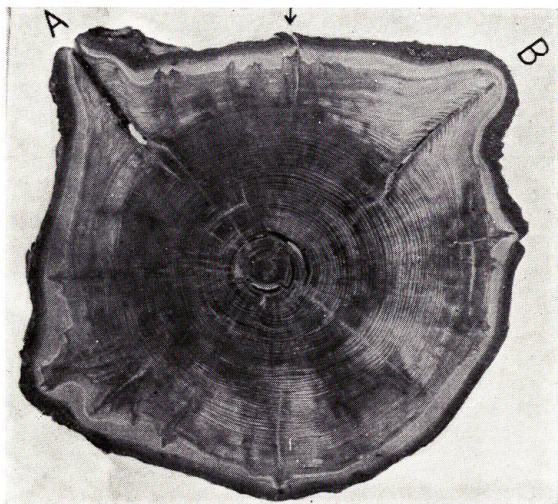


Fig. 28. (1/7×)



Fig. 29. (1/35×)



Fig. 30. (1/15×)

Plate 10

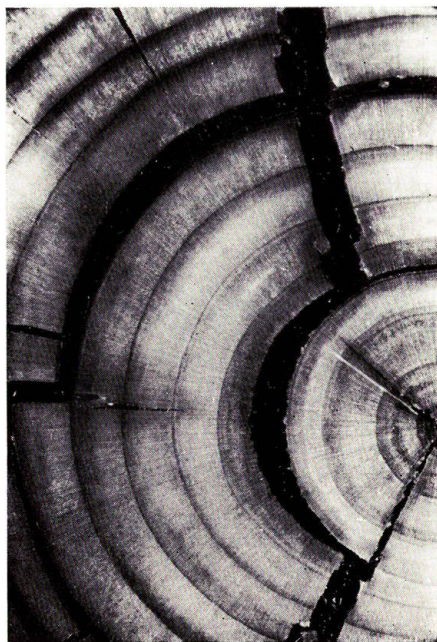


Fig. 31. (2×)



Fig. 32. (1/2×)

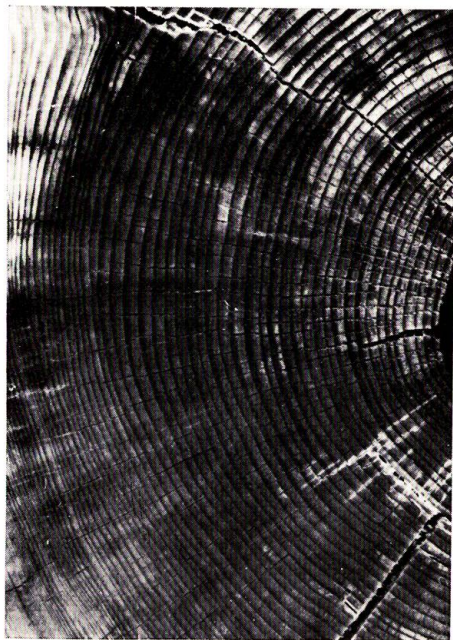


Fig. 33. (1/3.5×)

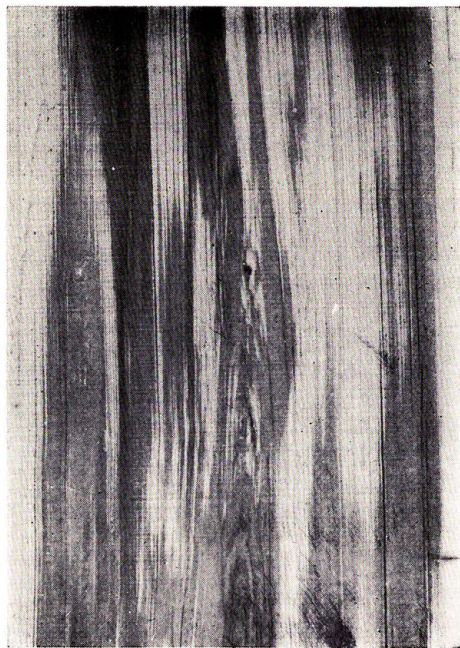


Fig. 34. (1/6×)

Plate 11

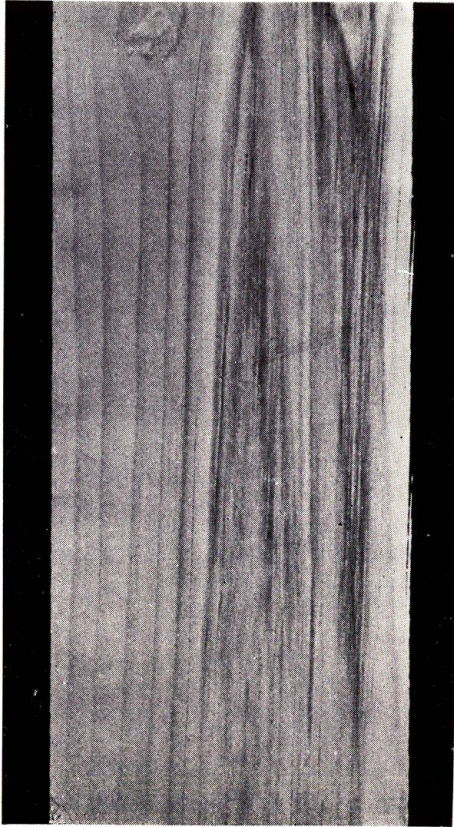


Fig. 35. (1/3×)

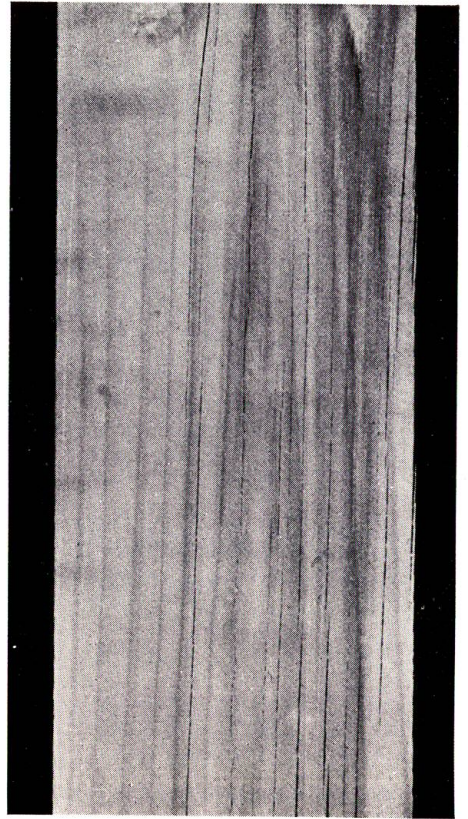


Fig. 36. (1/3×)

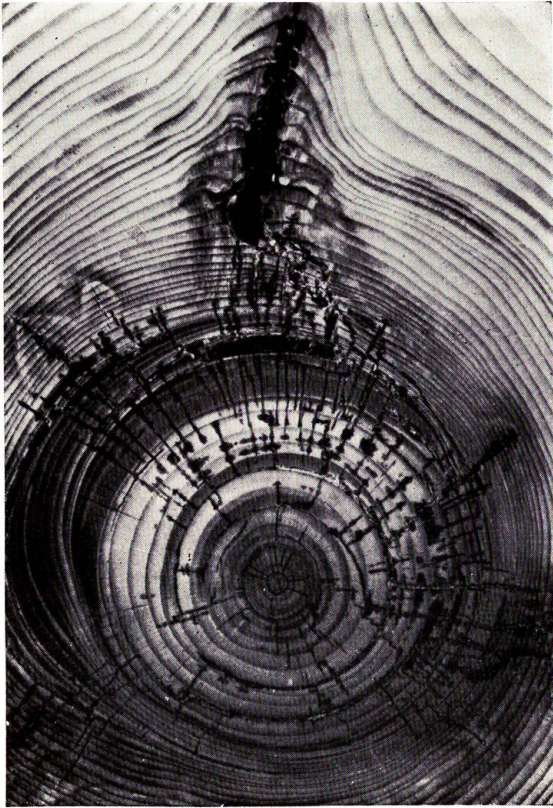


Fig. 37. (1×)



Fig. 38. (4×)

Plate 13



Fig. 39. (1×)



Fig. 40. (1×)



Fig. 41. (1×)

Plate 14



Fig. 42. (1/2.2×)



Fig. 43. (1/2.2×)



Fig. 44. (1/2.2×)

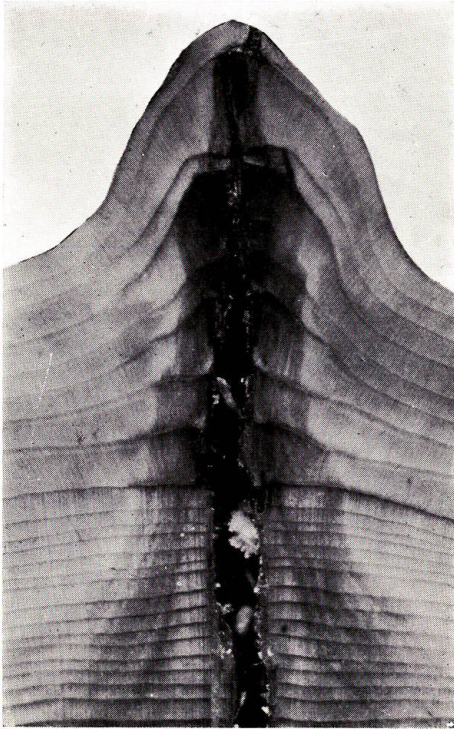


Fig. 45. (2×)

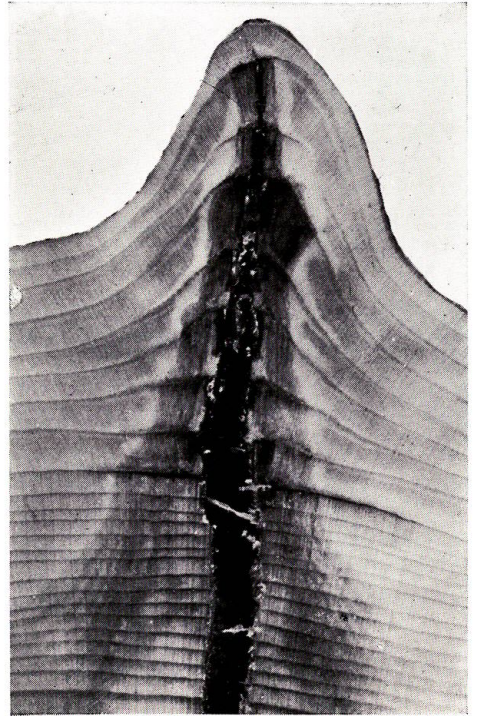


Fig. 46. (2×)

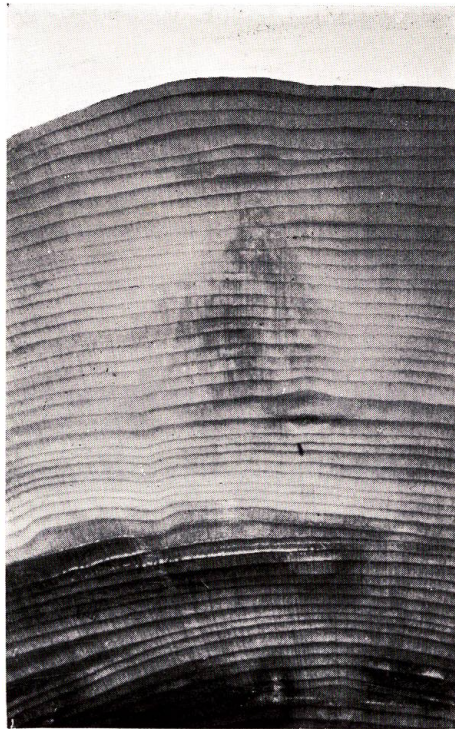


Fig. 47. (2×)



Fig. 48.



Fig. 49.

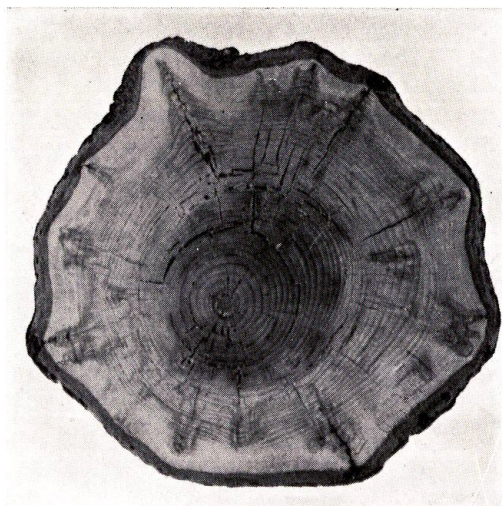


Fig. 50. (1/3×)

Plate 17

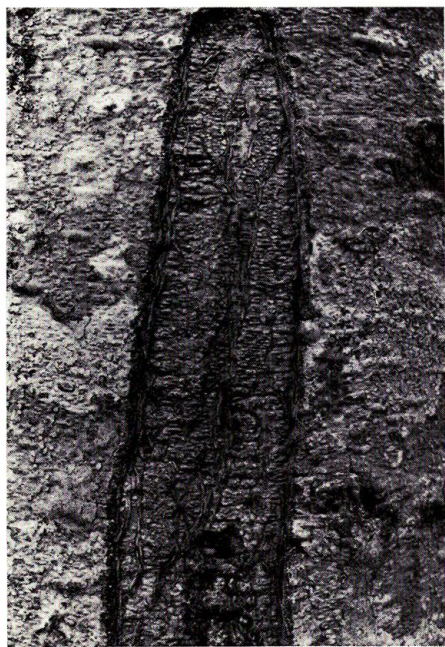


Fig. 51. (1/8×)



Fig. 52. (1/1.5×)

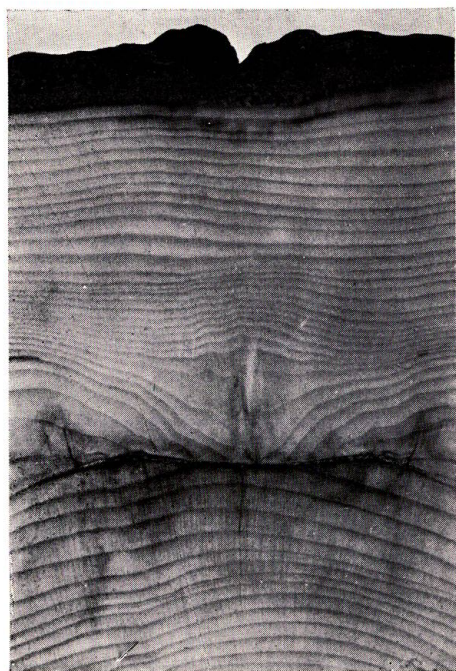


Fig. 53. (1×)

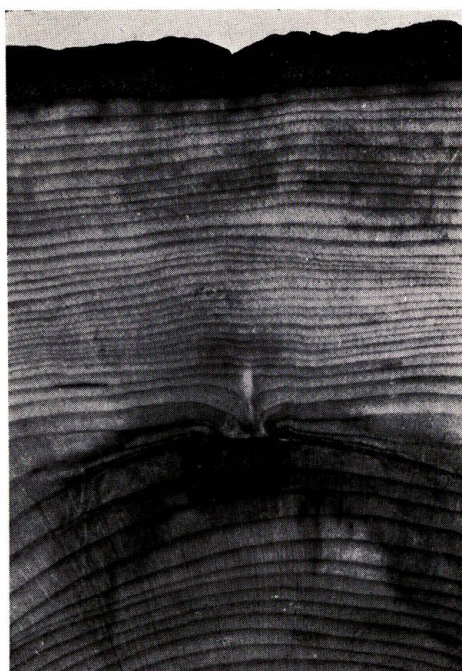


Fig. 54. (1×)

Plate 18



Fig. 55.



Fig. 56. (1/2×)

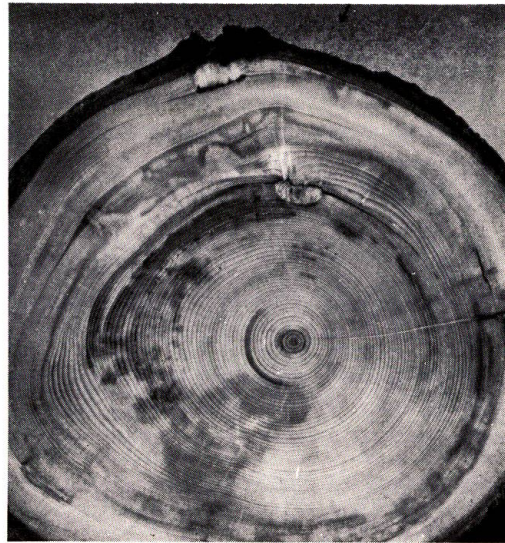


Fig. 57. (1/2×)