

内部割れの評価法

製材品に発生した内部割れは、外側からは確認できません。また乾燥条件を誤ると、強度的に危険な内部割れが発生することもあります。

本プロジェクトでは、乾燥材に発生している内部割れを検知したり、画像解析技術を活用して比較的容易に内部割れを評価する技術についても検討しましたので、その成果を紹介します。

(1) 応力波を用いた内部割れの推定法

木材の非破壊試験法の一つである応力波伝播速度を用いた内部割れ推定法について記述します。ここで、応力波伝播時間の測定に使用する機器は、市販の応力波速度測定機ファコップ (FAKOPP Enterprise製) です。

ポイント解説

- ファコップを用いた応力波伝播時間の測定は、心持ち正角の木口から30cm以上内側の位置で、対角線方向に発信側および受信側センサーを差し込み、発信側センサーを打撃して測定します。正角の断面内に内部割れが存在する場合は、応力波は内部割れを迂回して伝播するため、伝播速度が遅くなります。
- 応力波伝播速度による内部割れ評価項目としては、「最長の内部割れ長さ」が最も有効です。内部割れ発生例を写真に、応力波伝播速度と最長の内部割れ長さとの関係を図1にそれぞれ示します。
- 最長の内部割れ長さを推定するための「内部割れ評価シート」を作成し、これを用いて行った実証試験結果を図2に示します。なお、このシートは心持ち平角にも適用できます。
- 応力波伝播速度を測定した断面における「内部割れ長さの合計」を推定する場合は、表を目安とします。
- センサーの差し込み傷が残りますので、仕上げ加工前の測定が望ましいです。

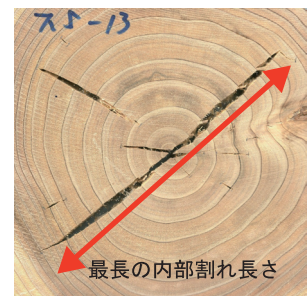


写真 内部割れ発生例 (スギ)

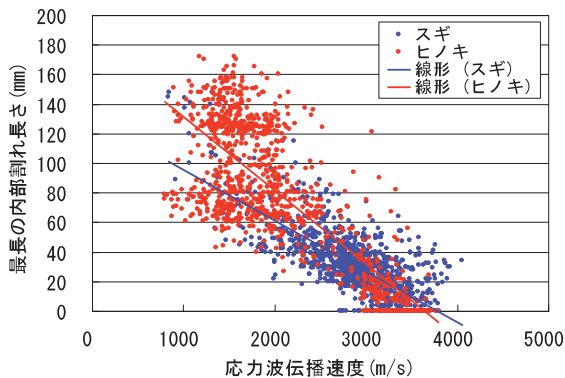


図1 応力波伝播速度と最長の内部割れ長さとの関係 (スギ、ヒノキ)
スギ ; $y = -0.0343x + 129.95$ ($R^2 = 0.5608$)
ヒノキ ; $y = -0.0497x + 180.89$ ($R^2 = 0.6354$)

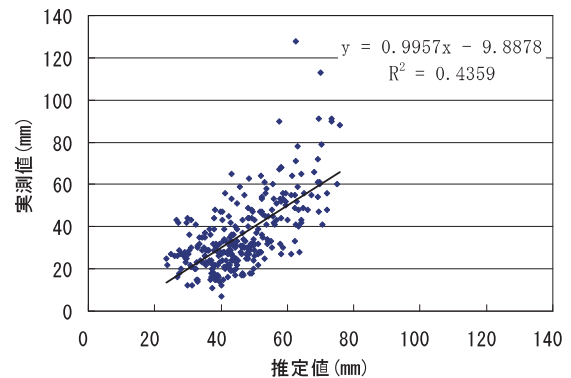


図2 最長の内部割れ長さの推定値と実測値との関係 (スギ)

表 内部割れ長さの合計と最長の内部割れ長さとの関係

(単位 : mm)

内部割れ長さの合計		100	150	200	250	300	350	400	450	500
最長の内部割れ長さ	スギ	21	35	50	64	78	93	107	121	136
	ヒノキ	22	49	76	102	129	155	182	209	235

● 内部割れ推定手順 ●

①被験材を準備します。



②被験材の木口から30cm以上内側で、断面寸法（幅と材せい）を測定します。



③含水率計により2材面の含水率を測定します。



④ファコップにより、各対角線方向で応力波伝播時間を3回ずつ測定します。



⑤各測定値を内部割れ評価シートに入力し、最長の内部割れ長さを求めます。

内部割れ評価シートVer.1

① 樹種No.の入力（スギ：1，ヒノキ：2）		<input type="text"/>
② 断面寸法の入力（mm）	幅×材せい	<input type="text"/> <input type="text"/>
③ 含水率の入力（%）	2箇所	<input type="text"/> <input type="text"/>
④ 一方の対角線方向の応力波伝播時間の入力（ μs ）	1～3回目	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
⑤ 他方の対角線方向の応力波伝播時間の入力（ μs ）	1～3回目	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
⑥ 内部割れ評価の表示 (応力波伝播時間測定位置における被験材断面の評価です。)	最長の内部割れ長さ	<input type="text"/> mm

注) 「内部割れ評価シートVer.1」は、島根県中山間地域研究センターの以下のホームページからダウンロードの上、ご利用ください。

<http://www.pref.shimane.lg.jp/chusankan/kenkyu/mokuzai/>

(2) ねじりを用いた内部割れの推定法

木材は含水率がおおよそ30%を下回ると、ねじりにくさの指標であるせん断弾性係数が変化しますが、内部割れが多いとその傾向は弱くなります。ここでは、せん断弾性係数を指標として内部割れの程度を推定する方法について解説します。

測定方法と手順

- ①被験材の高さ、幅、長さ、重量を測定し密度を求めます。
- ②図1のように中央部分を支持した被験材の両材端の材軸の中心（○の位置、曲げの周波数）と材端（●の位置、曲げとねじりの周波数）で打撃し（図1）、二つの周波数を比較することでねじりの周波数 f_n を確認します（図2）。

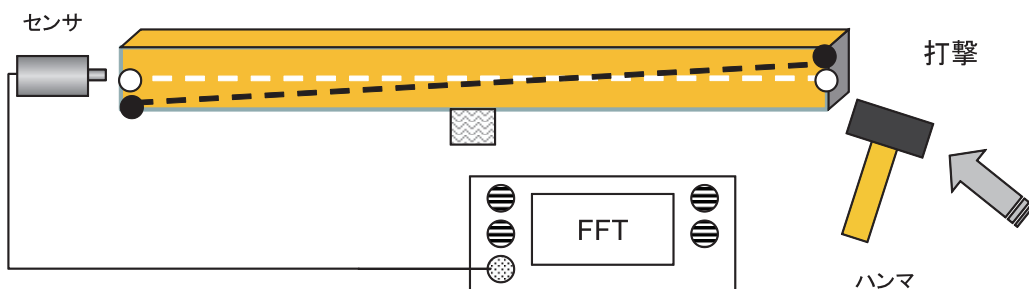


図1 動的ねじり試験の概要

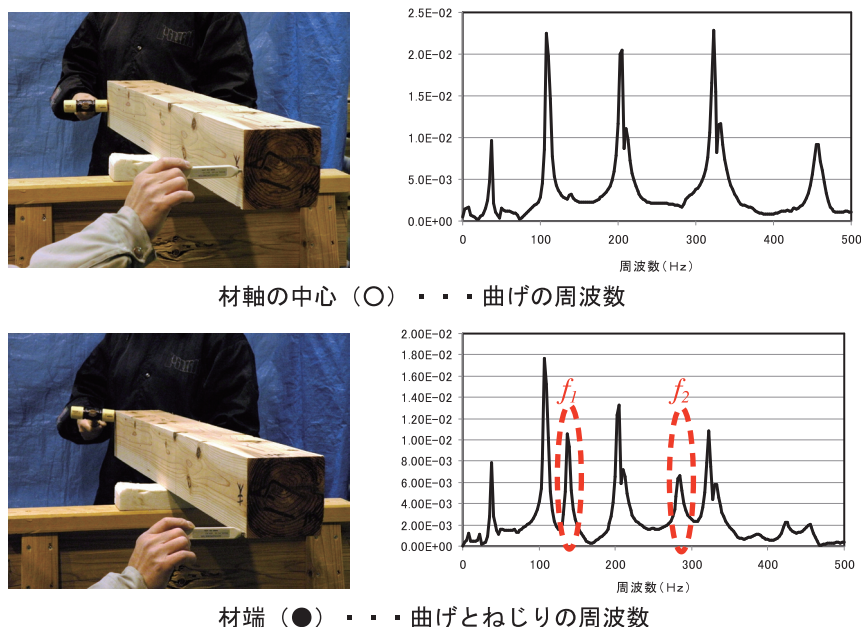


図2 ねじりの周波数の読み取り方法

材端（●）で打撃すると、材軸の中心（○）で打撃した時には現れないピーク（赤で囲んだ部分）がわかります。これがねじりの周波数 f_n で、周波数が低い方から1次（ f_1 ）、2次（ f_2 ）となります。

③せん断弾性係数 (Gd) を算出します。

$$Gd = m_n \cdot l^2 \cdot \rho \cdot f_n^2$$

(l :長さ、 ρ :密度、 f_n : n 次のねじりの周波数、 $m_1=4.730$ 、 $m_2=7.854$ 、 $m_n=\frac{\pi}{2(2n+1)}$)

④上記①～③を乾燥前と乾燥後に行い、その比を算出します。

⑤乾燥後の含水率を求めます。

⑥上記④と⑤の値を図3にプロットすると内部割れの程度が推定できます。

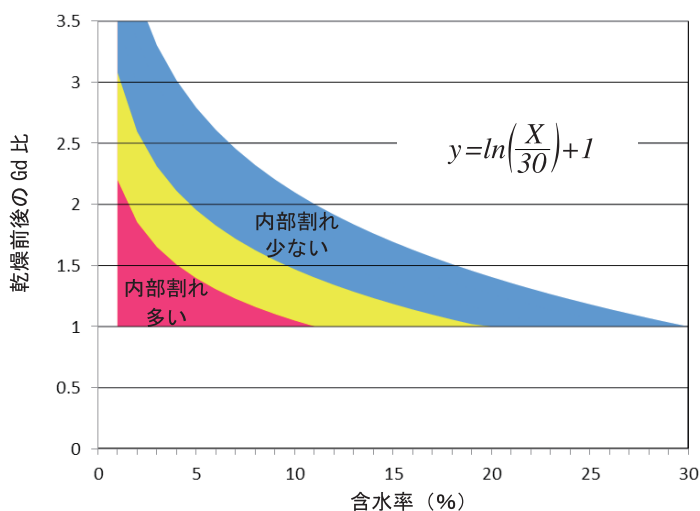


図3 内部割れを推定するための含水率とGd比の関係

ポイント解説

- せん断弾性係数を測定すれば、製品を鋸断しなくても木材の内部割れの程度を推定できます。
- せん断弾性係数を測定する方法には、動的と静的の2種類があります。
- 動的にせん断弾性係数を測定する時の注意点
 - ・周波数を測定する際、打撃する力が強いと様々な振動が励起され、ねじりに関する周波数が判別できない場合があります。また、打撃する力が弱いと周波数が読み取れない場合もあります。打撃する力は徐々に強くしていくことをお勧めします。
 - ・曲げの周波数とねじりの周波数が全く同じ部分に出現し、2回の打撃とも同じ波形となる場合があります。この場合は、高次（2次や3次）の周波数を確認すると分離できます。

(3) X線CTを用いた内部割れの評価法



写真1 X線CTによる観察

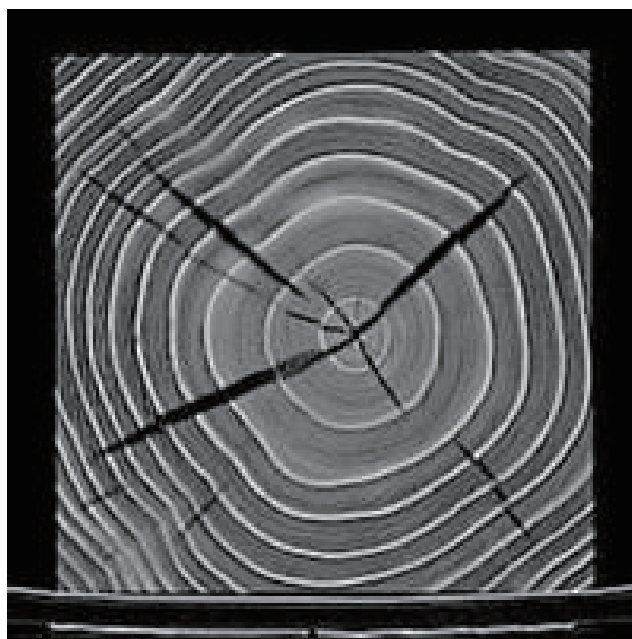


写真2 スギ105mm正角の断面観察例

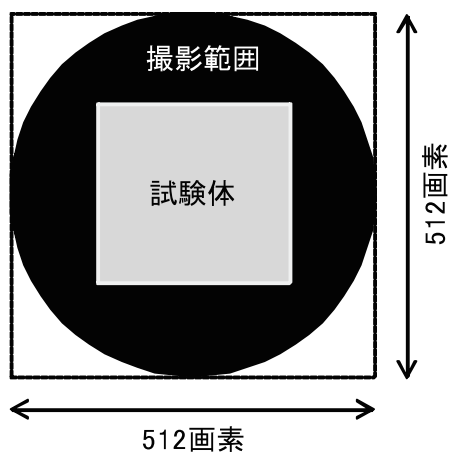


図 撮影断面の概要

X線CTによる観察像では、密度の高い部分が白く表示されるので、内部割れのほか、年輪や節も鮮明に写し出されます。

ポイント解説

- X線CTを用いると、製品を鋸断しなくても全長に渡って内部割れの有無や大きさなどを正確にチェックできます。分解能を1mm前後とした場合、正角4本あるいは平角2本を同時にチェックすることも可能です。
- さらに、節、腐朽・虫害、あて・目回り等のチェックも可能ですし、試験体の寸法や平均年輪幅等の測定もできます。心持ち材の場合は、髓の位置の変化から樹幹の曲がりや、割れの位置（髓からの角度）の変化から繊維傾斜を測定することも可能です。
- 医療用X線CTでは、図の黒い円内が観察対象となります。円の直径は試験体に合わせて変更が可能ですが、画素数は通常512×512です。したがって、120ないし150mmの正角の観察では0.4～0.5mm程度、120×300mmの平角では0.8mm程度の分解能となります。なお、撮影間隔は一般に1～10mm程度の範囲で選択できます。撮影間隔が短いほど高解像度になりますが、画像数が膨大になります。

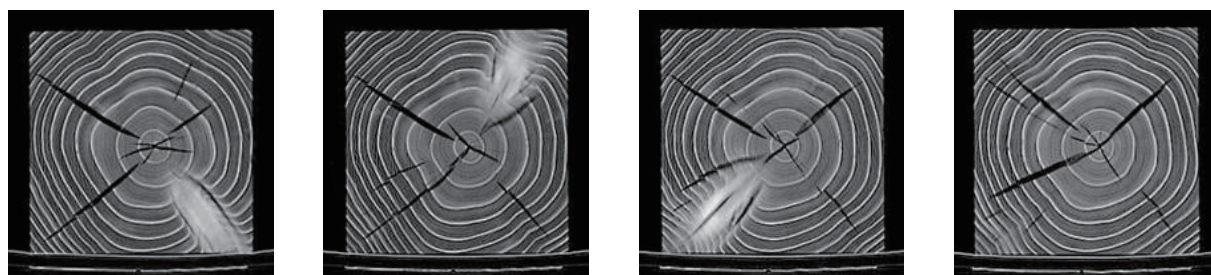
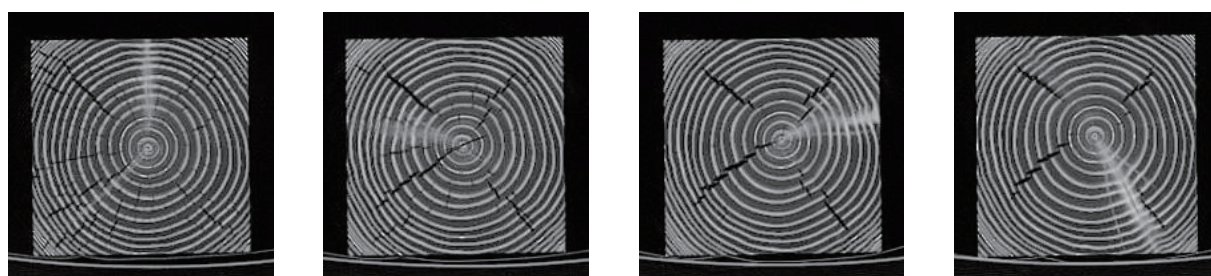


写真3 スギ105mm正角の観察例（断面写真の表示は30mm間隔）

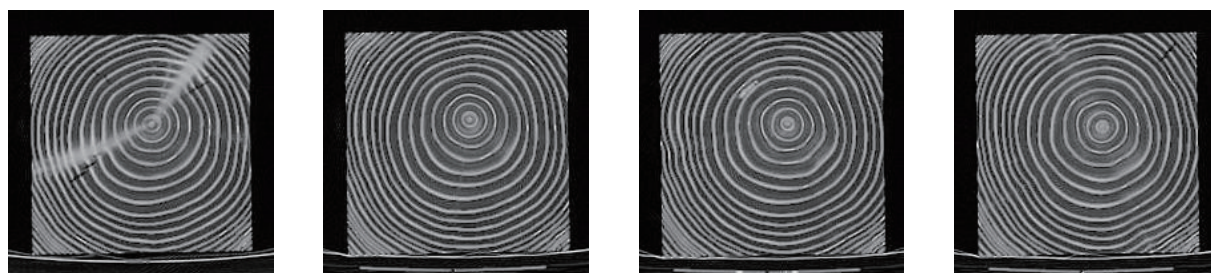


15mm

55mm

105mm

155mm

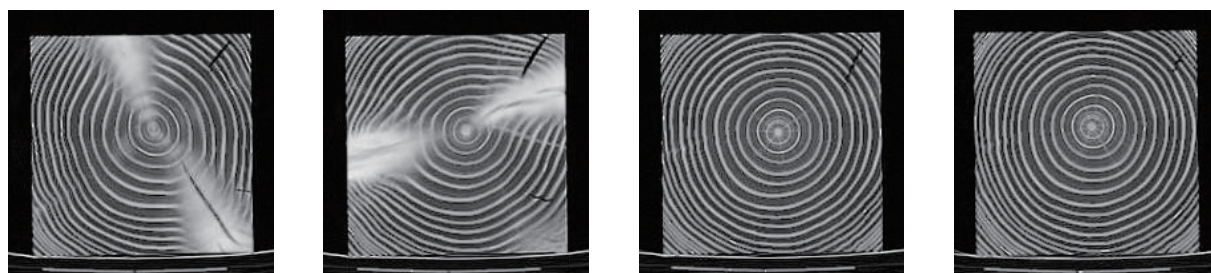


205mm

245mm

325mm

375mm

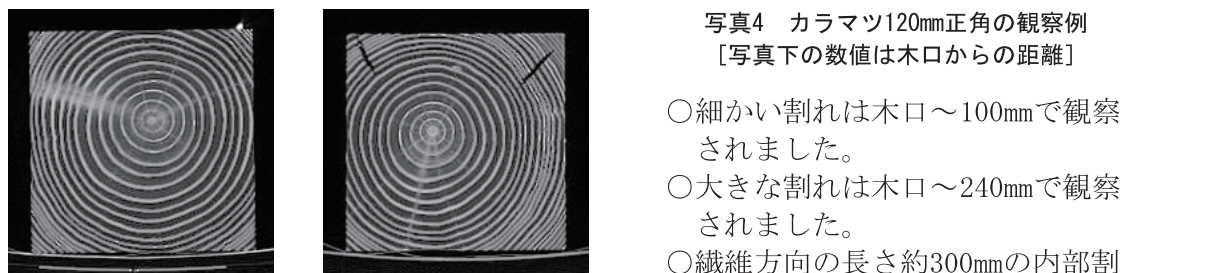


425mm

475mm

525mm

575mm



625mm

2, 275mm

写真4 カラマツ120mm正角の観察例
[写真下の数値は木口からの距離]

- 細かい割れは木口～100mmで観察されました。
- 大きな割れは木口～240mmで観察されました。
- 繊維方向の長さ約300mmの内部割れが木口から325～625mmの位置で観察されました。

(4) 画像処理技術を用いた内部割れの測定法

ImageJの使い方

- ① スキャナーにより木口面を1400×1400pixel程度の画像として読み取ります。
- ② 画像編集ソフトウェア(Microsoft Windows 標準添付のペイント等)を使って、割れ部分を黒色に塗り潰し、BMP形式で保存します(図1)。
- ③ 画像処理解析ソフトウェアImageJにファイルを読み込み、二値化します(図2)。
- ④ メニューの[Analyze]から[Set Scale]ウィンドウを開き、各辺の寸法を入力し、1 pixelあたりの長さを決定します。
- ⑤ メニューの[Analyze]から[Set Measurements]ウィンドウを開いて、測定条件を指定します(図3)。
- ⑥ メニューの[Analyze]から[Analyze Particles]を選び、開いたウィンドウで解析条件を指定(図4)して実行すると、解析結果として画像(図5)と結果一覧(図6)が出力されます。
- ⑦ 出力された表を選択・コピーして、解析評価用エクセルシートにテキストとして貼り付けます。
- ⑧ 貼り付けたテキストデータを基に、割れの箇所数や長さ、面積などが再計算され(表)、図として表示されます(図7)。



図1 割れを塗った画像

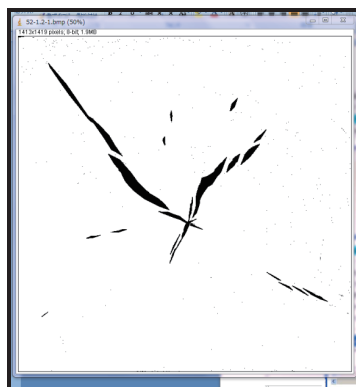


図2 二値化後の画像

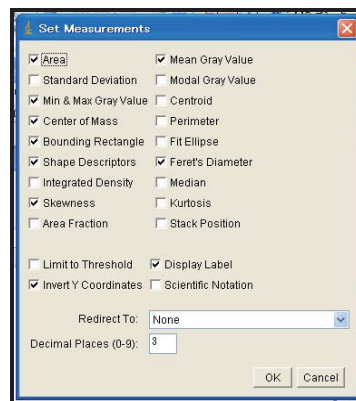


図3 測定条件の設定

注：ソフトウェアImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>)
 アメリカ国立衛生研究所で開発されたオープンソースのパブリック
 ドメインソフトウェアで、Java言語で動作します。MacやWindowsな
 ど、様々なプラットフォームに向けたパッケージが無償配布されて
 おり、ここではVer. 1.42を利用しています。

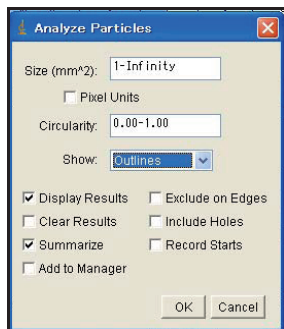


図4 解析条件の設定

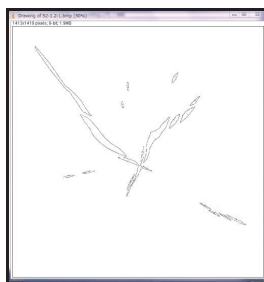


図5 解析画像

Label	Area	Mean	Min	Max	XM	YM	BX	BY	Width	Height	Circ	Feret	Show	Fer	
1	52.12-1.bmp	57.540	255	255	25	24.916	92.395	10.701	110.820	26.921	33.546	0.687	42.959	NaN	126
2	52.12-1.bmp	5.164	255	255	255	77.549	95.770	76.178	96.344	2.897	4.841	0.427	5.637	NaN	59
3	52.12-1.bmp	2.402	255	255	255	55.099	91.706	54.607	93.758	0.934	4.246	0.351	4.254	NaN	93
4	52.12-1.bmp	4.940	255	255	255	87.093	84.325	84.841	86.964	4.586	4.756	0.297	6.607	NaN	46
5	52.12-1.bmp	2.056	255	255	255	52.511	82.853	51.990	84.416	1.189	3.227	0.383	3.237	NaN	84
6	52.12-1.bmp	14.180	255	255	255	83.234	76.271	80.085	81.783	6.964	7.558	0.333	10.277	NaN	47
7	52.12-1.bmp	10.682	255	255	255	77.404	74.923	74.904	78.217	5.011	6.794	0.355	8.442	NaN	53
8	52.12-1.bmp	77.302	255	255	255	42.450	67.407	32.957	78.132	22.081	20.212	0.228	29.978	NaN	131
9	52.12-1.bmp	51.561	255	255	255	69.074	67.176	62.590	77.113	12.869	21.996	0.197	25.354	NaN	65
10	52.12-1.bmp	4.948	255	255	255	62.108	56.338	61.146	62.590	1.839	0.323	0.180	4.494	NaN	78
11	52.12-1.bmp	10.682	255	255	255	55.810	55.852	50.531	57.455	9.766	3.992	0.253	10.369	NaN	160
12	52.12-1.bmp	11.287	255	255	255	58.818	48.097	54.437	53.758	7.304	15.032	0.103	16.393	NaN	66
13	52.12-1.bmp	2.539	255	255	255	63.837	52.042	61.911	53.240	4.556	2.378	0.228	4.934	NaN	161
14	52.12-1.bmp	3.065	255	255	255	36.432	50.441	33.546	51.125	5.605	1.274	0.241	5.748	NaN	12
15	52.12-1.bmp	3.339	255	255	255	56.379	45.986	54.522	49.342	3.822	7.389	0.130	8.204	NaN	64
16	52.12-1.bmp	2.712	255	255	255	26.839	48.304	24.374	49.087	5.180	1.359	0.256	5.515	NaN	12
17	52.12-1.bmp	2.684	255	255	255	82.206	39.953	89.427	26.669	5.265	3.142	0.188	6.069	NaN	145
18	52.12-1.bmp	3.058	255	255	255	96.553	30.610	93.673	32.102	5.265	3.057	0.223	6.046	NaN	156
19	52.12-1.bmp	3.217	255	255	255	101.570	29.030	98.999	30.828	5.860	3.652	0.179	6.860	NaN	146
20	52.12-1.bmp	6.772	255	255	255	107.001	27.273	102.335	29.979	9.172	5.011	0.168	10.371	NaN	155

図6 解析結果

表 エクセルシートによる内部割れ情報の表示例

52-1.2-1.bmp	選択	割れ長さ	割れ幅	割れ面積	木口面割れ	推定起点位置		推定終点位置		割れ長軸	円形性平均	縦横比平均
	割れ箇所数	mm	mm	mm ²	面積割合%	x座標 mm	y座標 mm	x座標 mm	y座標 mm	角度平均度	0.0~1.0	短辺/長辺
合計	20	225.3	33.0	280.1	1.94	-	-	-	-	93.9	0.24	0.15

※1.0が完全な円

抽出条件	選択割れ	割れ長さ	割れ幅	割れ面積	木口面割れ	推定起点位置		推定終点位置		割れ長軸	円形性	縦横比平均
	箇所No	mm	mm	mm ²	面積割合%	x座標 mm	y座標 mm	x座標 mm	y座標 mm	角度度	0.0~1.0	短辺/長辺
面積最大	8	29.9	4.7	77.3	0.54	32.4	78.1	54.4	58.0	137.7	0.23	0.15
割れ長さ最大	1	43.0	2.8	57.5	0.40	10.7	110.8	37.6	77.3	128.7	0.09	0.04
割れ幅最大	9	25.3	5.1	51.6	0.36	75.2	77.1	62.6	55.1	60.3	0.20	0.20

行No	割れNo	最大割れ長さ mm	最大割れ幅 mm	割れ面積 mm ²	推定起点位置		推定終点位置		割れ長軸角度度	円形性 0.0~1.0	縦横比 短辺/長辺
					x座標 mm	y座標 mm	x座標 mm	y座標 mm			
1	1	43.0	2.8	57.5	10.7	110.8	37.6	77.3	128.7	0.09	0.04
2	2	5.6	1.6	5.2	79.1	98.3	76.2	93.5	59.2	0.43	0.26
3	3	4.3	0.9	2.4	54.9	93.8	55.2	89.5	93.4	0.35	0.20
4	4	6.6	1.4	4.9	89.4	87.0	84.8	82.2	46.0	0.30	0.18
5	5	3.2	1.1	2.1	52.4	84.4	52.6	81.2	94.5	0.38	0.29
6	6	10.3	2.3	14.2	87.0	81.8	80.1	74.2	47.3	0.33	0.23
7	7	8.4	2.0	10.7	79.9	78.2	74.9	71.4	53.6	0.36	0.23
8	8	29.9	4.7	77.3	32.4	78.1	54.4	58.0	137.7	0.23	0.15
9	9	25.3	5.1	51.6	75.2	77.1	62.6	55.1	60.3	0.20	0.20
10	10	8.5	1.0	4.9	62.8	62.6	61.1	54.3	78.5	0.18	0.10
11	11	10.4	1.6	10.7	50.5	57.2	60.3	53.8	160.4	0.25	0.14
12	12	16.4	1.6	11.3	61.4	53.8	54.8	38.7	66.5	0.10	0.07
13	13	4.8	1.1	2.5	61.9	52.8	66.5	51.3	161.6	0.23	0.15
14	14	5.7	0.9	3.1	39.2	51.1	33.5	49.9	12.8	0.24	0.13
15	15	8.2	0.7	3.3	58.2	49.3	54.6	42.0	64.2	0.13	0.06
16	16	5.3	0.9	2.7	29.6	49.0	24.4	47.8	12.9	0.26	0.14
17	17	6.1	0.6	2.6	89.4	35.6	94.7	32.6	149.9	0.19	0.09
18	18	6.0	0.9	3.1	93.7	32.1	98.9	29.1	150.6	0.22	0.12
19	19	6.9	0.8	3.2	98.6	30.8	104.5	27.2	148.7	0.18	0.09
20	20	10.4	1.1	6.8	102.3	29.9	111.5	25.1	152.2	0.17	0.09

・エクセルファイルダウンロードURL

<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/sougougizyutukennkyuuzyo/1219628260277.html>

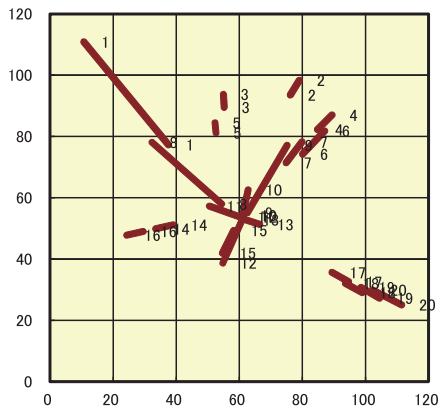


図7 割れの位置情報



図8 実際の画像

● ポイント解説 ●

- ① スキャナーで読み取った画像の割れを黒く塗り潰すのは、割れの範囲をハッキリさせるためです。
- ② ImageJは、割れの形を起・終点を結ぶ菱形様に認識して、傾きなどの情報を出力します。したがって、X字状など、いろいろな方向の割れが繋がった部分では、「割れの位置情報」が正しく表示されません。その際には、画像編集により、割れを分割する必要があります。



図9 割れの分割

