

輸入材と特産材の曲げ加工性に関する研究(3)

- 曲げ加工試験(その1) -

米田昌世 宮野 力
若井 実

枝や灌木のように細い木を曲げ、かごのような物やいろいろな道具を作ることは、相当古くからおこなわれていたものと思われる。しかし、ある程度の厚みをもった材を熱を加えて任意の形に曲げる方法はそう古い頃ではなく19世紀に入ってから考えられたようである。すなわち、1839年にドイツのMichael Thonetによって考案された曲げ木方法によって、ソリッド材による曲げ加工技術は一応完成された¹⁾。

欧米においては、曲げ木用材の供給不足に対処するため、1940年から50年頃にかけて研究がなされている^{2),3),4)}。一方、我が国においては曲げ木の研究は主にブナ材についておこなわれたもので^{5),6),7)}、系統的に多樹種を比較したものはない。そこで、本試験は道産材6樹種、南洋材8樹種の計14樹種について曲げ加工に関する一連の試験をおこない、曲げ加工に際しての技術指針を得ることを目的とした。

1. 曲げ木の原理^{3),8)}

木材の特性として弾性域に対する塑性域の比率と、軟化あるいは可塑化処理による塑性域の増加は引張りに対するよりも圧縮において著しく、また効果的である。一般には適当な軟化処理により材の繊維方向では約30%まで破壊せずに圧縮出来るが、引張りに対しては2%以上伸ばすことは困難であるとされている。したがって素材を曲げる場合、断面に生じる応力分布はなるべく圧縮応力を大きくし、引張応力を小さくし、出来れば圧縮応力だけで曲げ加工が進行することが望ましい。従来おこなわれている曲げ木法は、このため引張側に帯鉄をそわせて木材・帯鉄を一体として曲げることにより引張応力は帯鉄が負担し、木材中には殆んど大部分圧縮応力だけを生じつつ曲げ加工をおこなうことが原理となっている。この原理はThonetが始めて実用化したといわれ、トーネット法ともよばれている。

2. 試験方法

2.1 曲げ加工試験装置

第1図に示すような回転テーブル式およびプレス併用式のものを用いた。

帯鉄は厚さ1.6mmの軟鉄で作り、木口止めはボル

トの回転によりエンドロック(回転テーブル式試験装置の場合は硬質ゴム、プレス併用式試験装置の場合はカツラ材)が後退するようにした。試験装置の設計にあたっては、曲げ加工性の試験機としての性能をもつように配慮を加え、特に回転テーブル式試験装置には圧縮ローラーの内側にロードセル(容量500kg)を挿入することにより、曲げに要する仕事量を測定できるようにした。

2.2 供試材の選定と製作

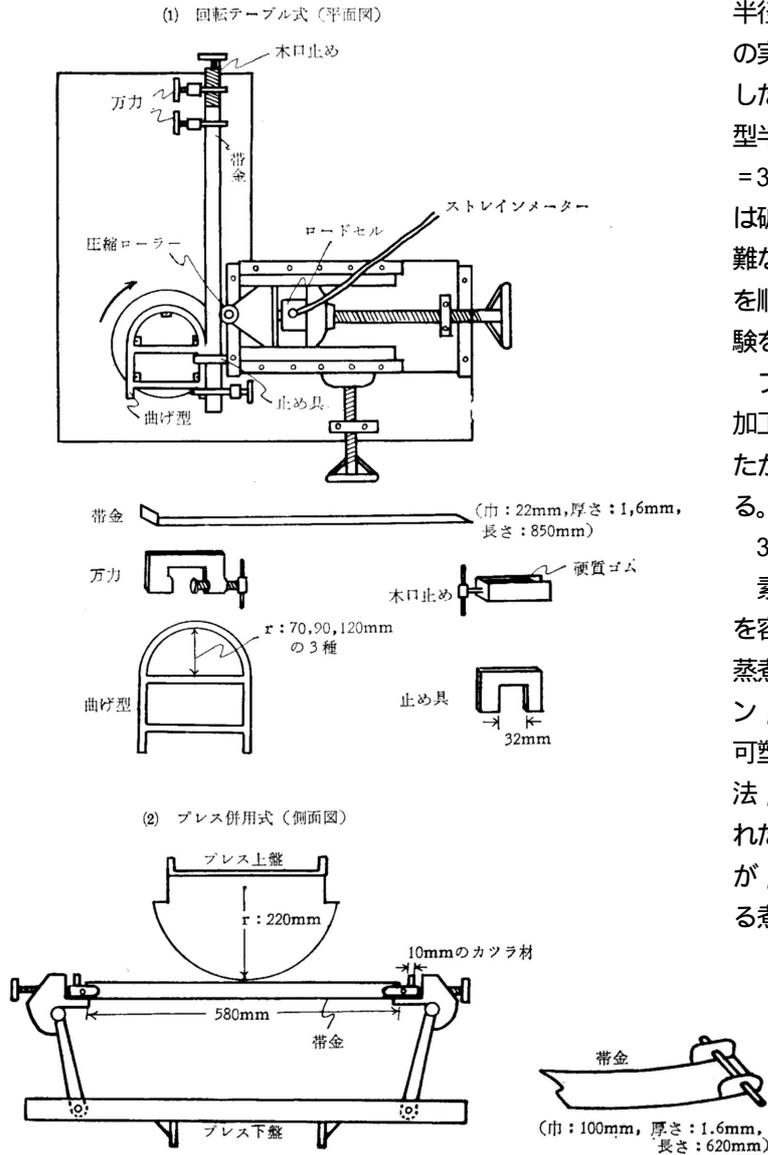
供試樹種は既報³⁾の14樹種である。

回転テーブル式試験装置に供する試験片は心材部(但しブナは辺材部)より採材し、その大きさは断面2×2cm、長さ70cmである。試験片の作成にあたっては目切れ、節、縄目(交錯木理)等の欠点の少ないものを選び、またほぼ完全な二方柱に木取った。試験片数は各樹種60本で、試験直前の含水率は各樹種とも10~15%であった。

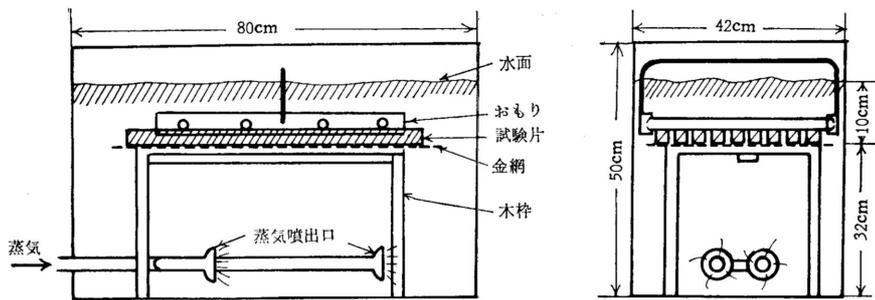
プレス併用式試験装置に供する試験片の大きさは断面2×9cm、長さ58cmである。試験片の選定と製作は、回転テーブル式試験装置に供する試験片に準じておこなった。なお、試験片数は各樹種10本とした。

2.3 曲率半径の設定

回転テーブル式試験装置による曲げ加工の基準曲率



第1図 曲げ加工試験装置



第2図 煮沸槽の寸法と形態

半径は、ブナ材を用いた曲げ加工品の実態調査結果から、7cmとした。したがって、板厚 s (cm)と曲げ型半径 r (cm)との比 r/s は、 $7/2 = 3.5$ となる。この基準曲率半径では破壊率が大きくて、曲げ加工の困難な樹種については、曲げ型の半径を順次 9cm, 12cmと大きくして試験をおこなった。

プレス併用式試験装置による曲げ加工の曲率半径は22cmとした。したがってこの場合、 $r/s = 11.0$ となる。

3.4 供試材の軟化処理

素材の可塑性を増大し、曲げ加工を容易にするための前処理としては蒸煮、煮沸法の他に尿素、グリセリン、液体アンモニア¹⁰⁾等を軟化剤(可塑剤)として用いる化学的処理方法、あるいは最近イギリスで開発された圧縮前処理法¹¹⁾など種々あるが、本試験では通常おこなわれている煮沸法を採用した。試験に用いた

煮沸槽を第2図に示す。

煮沸温度については、木材の可塑性に関する知見^{7), 12)}と試験条件設定の容易さから、 98 ± 1 を設定した。

煮沸時間については、すべての樹種の材の内部温度が所要温度に上昇する時間および材の含水率が繊維飽和点(約30%)をこえるに要する時間を考慮に入れ、回転テーブル式試験装置に用いる試験片では2時間、プレス併用式試験装置に用いる試験片では4時間とした。

3.5 曲げ加工の経過

曲げ加工の際、材温の低下したものは、曲げに要する力が増大し、破損の原因となるので、煮沸処理後、曲げ加工作業をおこなうまでの操作は迅速におこなった。また、試験片に当てる帯鉄や曲げ型などの治具はあらかじめ加温しておき、曲げ加工中の材温の低下を防止した。

回転テーブル式試験装置用の試験片の曲げ方向は板目曲げとし、圧縮側に木裏、引張側に木表がくるようにした。なお、装置の回転数は1分間に1回とした。

プレス併用式試験装置用の試験片の曲げ方向は柂目曲げとし、曲げ加工の速度は、プレス・ラムの上昇速度を毎秒2mmに設定しておこなった。

2.6 曲げ加工後の乾燥処理と治具解除後の形態の変化

曲げ加工においては、曲げ治具解除後、成形された材の曲率半径の変化の少ないことが望ましい。そのためには曲げ加工終了後、材を治具に固定したまま温度処理を施し、曲げ加工材の内部応力を弛緩させるとともに安定な水分状態に達するまで材を乾燥して、成形された材の曲率半径を固定(セット)することが必要とされる。

そこで、本試験では、回転テーブル式試験装置を用いた曲げ加工材について、乾燥条件と治具解除後の形態の変化について試験をおこなった。すなわち、処理温度と処理時間を変えた際のスプリングバックの程度を調べることとし、予備試験の結果から、つぎの3条件で乾燥処理をおこなうこととした。

- 1) 温度 80±5 2時間
- 2) 温度 100±5 2時間
- 3) 温度 100±5 4時間

上記の条件で乾燥された曲げ加工材を電気定温乾燥器よりとり出し、大気中(温度20℃, 相対湿度50%)に1時間放置し、この後、材を曲げ治具より取りはずし10分、30分、1時間および24時間後に形態の変化を調べた。

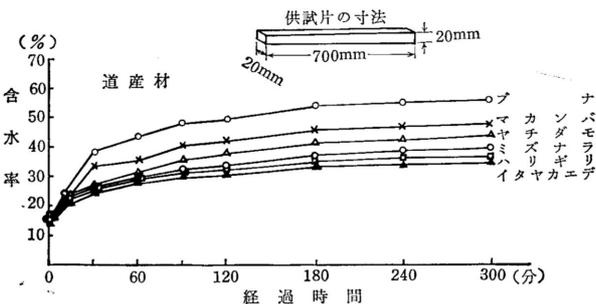
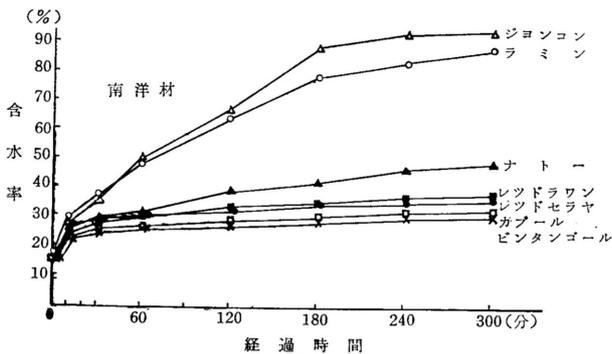
3. 試験結果および考察

3.1 曲げ加工の前処理としての材の煮沸時間

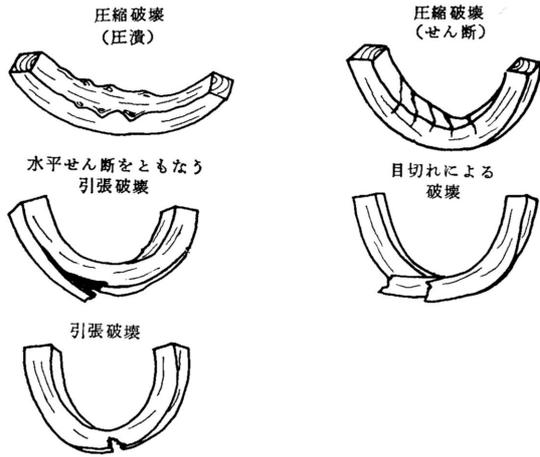
水温98℃における樹種別の含水率変化を第3図に示した。この結果から、南洋材では繊維飽和点に達する時間は、ジョンコン、ラミンが30分間、レッドラワン、レッドセラヤ、ナトーは1時間、カプルー、ピンタンゴールは少なくとも2時間を必要とし、道産材ではブナ、マカンバが30分間、ヤチダモが1時間、ハリギリ、ミズナラ、イタヤカエデは2時間を必要とすることがわかる。

3.2 曲げ加工材の破壊形態

本試験において曲げ加工材に認められた典型的な破壊形態を第4図に示した。



第3図 吸水曲線 (98℃温水中)



第4図 曲げ加工による破壊形態

圧縮側で破壊したのものについてその形態を調べると、南洋材においては、せん断・座屈による破壊形態が大部分をしめていた。道産材では、この破壊形態はまったく認められなかった。南洋材における座屈線の発生理由はつぎのように考えられる。すなわち、道産材に比較して軟化程度が小さいため¹⁴⁾、圧縮外力によって仮道管壁の有縁膜孔部分が局所的な応力集中を受け繊維に変化が生じてこり線があらわれる。このこり線

が繊維から繊維へと順次進行して、その後応力が増すと肉眼的にもはっきりと認められるようになる。本試験においてはこの座屈線は、材の板目面では繊維方向に対して40~70°、柁目面で約90°、すなわち垂直にあらわれた。

特徴的な破壊形態を樹種別に記述すれば、以下のとおりである。

- 1) 道産材では顕著な圧縮破壊の発生がなく、大部分は引張破壊で占められていた。これに反し、南洋材では圧縮側でせん断・座屈が発生して皺曲状の破壊状態を呈する。
- 2) 環孔材のミズナラ、ヤチダモ、ハリギリは水平せん断により引張破壊の深さは小である。すなわち、1~2年輪層の春材部で引張破壊がとまっている。
- 3) 散孔材のブナ、マカンバは、引張破壊の深さは大きい。
- 4) マカンバは木理不整のものが多く、目切れによって破損するものがあった。しかし、イタヤカエデは木理不整であっても目切れによる破損はなかった。

(以下15ページ下段へ続く)

第1表 破壊形態別の不良率

試片 試験 数 (本)	r/s	樹種名	引張破壊本数	圧縮座屈本数	引張, 水 平	引張, 圧 縮	目切れ, その	不 良 率 (%)
			(本)	(本)	せん断本数 (本)	他 本 (本)	他 本 (本)	
60	3.5	イタヤカエデ	9	1	0	0	1	18.3
〃	(r=7 s=2; cm)	ミズナラ	14	0	0	0	0	23.3
〃		ヤチダモ	10	0	4	0	0	23.3
〃		ブナ	19	0	0	0	0	31.7
〃		ハリギリ	21	1	5	0	0	45.0
〃		マカンバ	43	0	1	0	4	80.0
60	4.5	ハリギリ	19	0	0	0	0	31.7
〃	(r=9 s=2; cm)	マカンバ	24	0	1	0	1	43.3
〃		マトア	18	15	14	0	0	78.3
10	6.0	マトア	4	0	0	0	0	40.0
〃	(r=12 s=2; cm)	他の南洋材	すべて圧縮座屈を起こし、引張破壊をともなっているものもあった。					100.0
10		9.0 (r=9 s=1; cm)	マトア	0	0	0	0	1
20	ナトー		1	0	8	3	0	60.0
〃	カプー		3	8	0	5	0	80.0
〃	レッドセラヤ		2	4	0	10	0	80.0
〃	ビントソール		2	5	0	8	4	95.0
〃	レッドラワン		4	7	0	8	2	95.0
〃	ジョンコン		0	0	0	20	0	100.0
〃	ラミン		0	0	0	20	0	100.0

材したことによって高歩止りを得たと考えられる。又第3表にみるごとく、腐れによる影響が殆んどなかったことも高歩止りの一因と考えられる。

原木グループごとにみるならば、やはりわずかつつであるが、径級品等上位のもの程歩止りが高くなっている。これをさらに材種別にみるならば、第1目標として採材した耳付板は径級品等上位のもの程歩止りが高い。これに対して他の材種は全部逆の傾向を示している。とくにその傾向の顕著なものとして枕木をあげることができる。木取りにあたっては、原則的に1本の原木から心を包む枕木を1本とることにしたので、小径木にあっては製品の大部分を枕木が占めることは当然である。大径になるにしたがって枕木の材積割合が少なくなり、これは原木の品等には影響を受けない。

3.3.2. 価値歩止り

価値歩止りの意味についてはいろいろと考えられるが、ここでは原木 1m³ 当りの生産額をいうことにす

る。第6表の形量歩止りに材種品等別の価格をかけて算出したのが第7表価値歩止りである。この場合、市場価格は運賃込みの価格が普通であるから、材種によって、輸送距離が異なれば全体の生産額に影響するので、工場渡価格に統一した。なお、背板については歩止りを測定しなかったので、鋸屑を8%と推定し、製品歩止りとの関連で算定し、これに1m³当り3,240円をかけた。

その結果は第7表に示す如く、原木1m³当り11,519円から、最大は40~48cmの13,131円となっており、原木径級大なる程、又品等上位のもの程高いという結果になっている。しかしながらその差は小さく、20~28cmⅢ等を100とすれば、30~38cm及び40~48cmⅠⅡ等材でわずか114となっており、これでは原木価格差をカバーすることはできない。その反面能率が高いということであればよいのであるが、第5表で示した如く、大割工程においてはかえって時間がかかるという結果を示している。したがってこのように価格の高い優良材については、その材のよさを活かした木取りを考えなければならぬ。

第7表 価値歩止り 円/原木m³ 工場渡価格 (43年上半期)

原木グループ	20 ~ 28 cm		30 ~ 38		40 ~ 48	
	Ⅲ	Ⅰ, Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ, Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ, Ⅱ
	枕 木 片 耳 付 板 板 板 床 板 原 板 ブ ロ ッ ク 製 材 品 計	5,452	5,440	3,002	2,624	1,467
	581	1,511	4,698	7,204	9,562	9,761
	3,872	3,740	3,080	2,354	418	638
	875	448	490	473	371	343
	89	62	80	35	44	27
	10,869	11,201	11,350	12,690	11,862	12,741
背 板 合 計	650	650	650	390	490	390
	11,519	11,851	12,000	13,080	12,352	13,131
指 数	100	103	104	114	107	114

次回は集約的採材の試験について述べる。

* 試験部 経営科
** 同 製材試験科
(受理月日 44.1.18)

(9ページより続く)

3.3 樹種別の曲げ加工適性

回転テーブル式試験装置による曲げ加工材の不良率を破壊形態別に第1表に示した。

この結果、曲げ加工適性樹種を適の順から記述すると、道産材ではイタヤカエデ、ミズナラ、ヤチダモ、ブナ、ハリギリ、マカンバの順であった。南洋材ではマトアとナトーが道産材について比較的曲げ加工に適する樹種と認められたが、他の樹種は不良率が極めて

大きかった。

プレス併用式試験装置による試験結果も上記と同様であった。

次号においては、曲げ加工材の乾燥処理の結果等について報告する予定である。

* 木 材 部 接 着 科
** " 材 料 科
*** " 加 工 科