

緊張時の帯鋸の応力分布

藤井 義久・服部 順昭・野口 昌巳

The Stress Distribution in the Band Saw in Tension.

Yoshihisa FUJII, Nobuaki HATTORI
and Masami NOGUCHI

要 旨

腰入れ・背盛りや上部鋸車の傾斜の応力分布に及ぼす影響を知るため、腰入れや背盛り量の異なる4本の帯鋸の緊張時に生じる応力の鋸幅方向の分布を、上下鋸車軸間の自由部分の中央から鋸車上にわたりひずみゲージを用いて測定し、また鋸と鋸車の接触圧力分布を感圧紙を用いて測定した。

その結果、自由部分での応力は腰入れ・背盛りされていない鋸L、背盛りのみの鋸B、腰入れ・背盛りの鋸Fでは鋸前縁から後縁に向かって直線的に増加または減少し、腰入れのみの鋸Tでは放物線状に分布した。上部鋸車の傾斜角度を大きくすると、応力分布の直線部分の傾きや放物線の形状は、鋸前縁での応力が低下し、後縁では上昇するように変化した。自由部分の応力は鋸の緊張によって発生する鋸幅方向に一定の引張応力と直線的に分布する曲げ応力からなると予測されたが、実験結果からこの曲げ応力は上部鋸車の傾斜によって変化するだけでなく、腰入れ・背盛りによる鋸断面の変形の結果、鋸と鋸車の接触状態が変化し、それによって生じる鋸幅方向の面内曲げの影響も受けると推定された。また鋸Tの放物線状の応力分布は鋸が幅方向の中央で長さ方向に特に強く圧延されたためと考えられる。鋸車上での応力は鋸T、Fでは鋸車前縁と鋸後縁付近で、鋸Bでは鋸車前縁で、鋸Lでは鋸幅の中央部で大きくなった。この分布にはほぼ対応して鋸と鋸車の接触圧力は鋸Lでは概ね鋸幅の全域にわたり比較的強く分布し、鋸T、B、Fでは鋸車前縁部で鋭いピークが見られ、さらに鋸Tでは鋸後縁付近にもやや高いピークが見られた。また応力分布は鋸と鋸車の接触開始点の近傍では急激に変化することもわかった。

1. 緒 言

製材用の帯鋸は通常厚さが約1 mm、幅が100~150 mmの薄板状で、平均約6~10 kgf/mm²の応力で緊張して使用されるが、厚さ方向の剛性が他の方向のそれに比べて非常に低いため、ひき材中に鋸歯に作用する力のわずかな変動によっても容易に曲げやねじれ変形を起こし、ひき道が設定した直線からそれる、いわゆるひき曲がりが発生する。

この鋸の変形量は鋸歯に作用する力と鋸の剛性によって決まる。帯鋸の曲げやねじり剛性を考える場合、上下鋸車軸間にあるいわゆる鋸の自由部分は引張応力下にある薄板状のはりとして扱える。これまでこの応力や外力による鋸の変形に関する理論的または実験的研究の多くは、緊張によって鋸横断面に発生する応力は鋸幅方向について一定であるとしてきた^{1,2,3,4)}。しかしロー

ル掛けによる腰入れや背盛りによって横断面の変形した鋸を緊張する場合、鋸と鋸車の接触圧力が鋸幅方向の一部で高くなること⁵⁾や、上部鋸車の傾斜によって鋸幅方向の面内での曲げ応力が生じることから、引張応力は鋸幅方向で一定にならないものと考えられる。Thunell⁶⁾やPahlitzsch⁶⁾らは帯鋸の緊張時の応力を解析する際、これらの曲げ応力のうち特に後者を考慮しているが、応力と鋸の剛性との関係を詳しく検討するに至らず、腰入れ・背盛りの応力への影響についても鋸身内の残留応力の点から若干検討しているのみである。また帯鋸を分布引張応力下の薄板状のはりとしてその変形を考える場合には、両端付近での応力分布の変化や、支持条件についても検討する必要がある。

そこで本研究では腰入れ、背盛り量の異なる数種の帯鋸について、緊張時の鋸断面に発生する引張応力を測定し、上部鋸車の傾斜や、腰入れ・背盛りの応力分布への影響について検討した。その際、鋸と鋸車の接触状態が応力分布へ大きく影響していると考えられるため、鋸と鋸車の接触圧力分布も測定した。

2. 実 験

2. 1. 帯鋸

実験には合金工具鋼 (SKS5) 製、厚さ 0.82 mm、鋸幅 102 mm (鋸身幅 94 mm) の帯鋸 4 本を用いた。鋸 L はロール掛けによる腰入れ・背盛り処理をせず水平仕上げのみ施した鋸、T は腰入れのみ、B は背盛りのみ施した鋸、F は腰入れ・背盛りを施した通常使用される仕様の鋸である。各鋸の腰入れおよび背盛り半径を表 1 に示す。

2. 2. 応力の測定

800 mm 小割用帯鋸盤に鋸を掛け、分銅式緊張装置によって鋸を緊張し、鋸の長さ方向に発生する応力の鋸幅方向の分布をひずみゲージを用いて測定した。ゲージ (グリッド長さ 5 mm、幅 2 mm) のはり付け位置は図 1 左側に示した鋸幅方向の 7 か所と、歯底付近での応力集中の程度を検討するため、一部の条件で歯底から 2 mm の位置とした。また鋸の長さ方向の測定位置は図 1 右側に示す上下鋸車軸間中央(a)から上部鋸車最上部(b)に至るまでの 7 か所とした。実験条件として鋸の公称緊張力 (T) を 470, 670 kgf の 2 種類、上部鋸車の傾斜角度を変え、鋸車前縁からの鋸の出 (y) を約 7, 10, 15 mm の 3 種類とした。

これまでに帯鋸のひずみや応力は久野⁵⁾や Pahlitzsch⁷⁾らも測定しているが、本研究では特に鋸の緊張によって生じる引張応力の鋸幅方向の変化のみを知ることが目的として、実際の測定では所定の条件で鋸を緊張し、空転・自然停止の後、位置 a から d では所定の位置にひずみゲージをり、この状態をひずみ 0 として鋸の緊張を緩めた時に得られる圧縮ひずみから張引応力を求めた。各ゲージの出力はスイッチボックスを介して静ひずみ計で測定した。鋸の緊張を緩めた時に発生する曲げによるひずみは各測定点でひずみゲージを鋸身の両面にはり消去した。測定位置が鋸車上にある場合 (e から g) は歯底から 5 mm の位置でのみ鋸の両面にゲージをはり、曲げによるひずみを消去する場合としない場合についてひずみを測定し、それらの差からその位置での曲げによるひずみを求め、他の位置でのひずみからその値を差し引いて引張応力を求めた。

Table 1 Radius of tensioning and back stretching of the band saws.

Band saw	Radius (m)	
	Tensioning*	Back-stretching
L	∞	∞
T	8.1	1.7×10^3
B	∞	2.1×10^3
F	12	2.4×10^3

* measured on a cylinder of diameter 800mm.

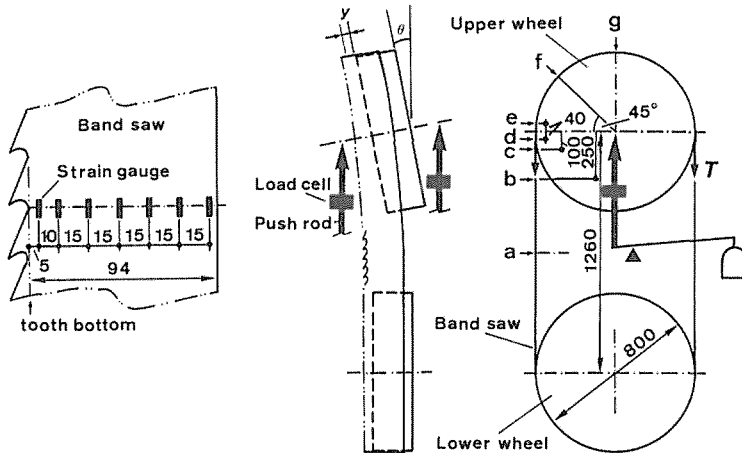


Fig. 1 Schema of experiment.

Note: θ inclination angle of the upper wheel,
 y overhang of the saw blade from the front rim of the upper wheel,
 T tensile force, a-g positions of stress measurement.

ひずみゲージによる応力測定と同時に上部鋸車軸突き上げロッドに挿入したロードセル(図1)によってロッドにかかる荷重を測定し、これより緊張力 T および鋸断面の平均引張応力を求めた。また鋸と鋸車の接触状態と鋸車上での応力分布の関係を検討するため、位置eでの鋸と鋸車の接触圧力分布を感圧紙(富士フィルムプレスケール, 超低圧用, 測定圧力5-25 kgf/cm²)を用いて測定した⁵⁾。

3. 結果と考察

3. 1. 緊張時の応力の鋸幅方向分布

図2に各帯鋸について位置aからgにおける鋸断面の応力の鋸幅方向の分布および位置eでの鋸と鋸車の接触圧力による感圧紙の発色状態を示す。ここで濃く発色している部分ほど接触圧力が高いことになる。

ロール掛けのない鋸Lの軸間中央(a)での引張応力は、歯底から2mmの位置あたりまでは歯底での応力集中によると考えられる応力の変化が見られるが、それより後縁側では鋸前縁から後縁にかけ直線的に増加した。この応力分布は緊張により生じる鋸幅方向に対して一定の引張応力と上部鋸車の傾斜により生じる鋸幅方向の面内曲げによる応力が加わったものと考えられる。図中横軸に平行に示した破線は突き上げロッド荷重から求めた平均引張応力を示す。そしてこの分布形状は位置aから鋸と鋸車の接触開始点の手前少なくとも100mmの位置cまでは変化しないが手前40mmの位置dでは鋸幅の中央付近で増大し、鋸が鋸車に乗り上げた位置では上に凸の放物線状になり、eからgに至るまでは殆ど変化しなかった。この放物線状分布は鋸車にそって曲げ変形した鋸が鋸前・後縁で鋸車から浮き上がるように反ることによると考えられる。なおeからgの応力分布には実験方法で述べたように鋸が曲げられることによる応力は含まれていない。

鋸Lでの感圧紙の発色は概ね鋸幅全体にわたって見られた。これは鋸Lはロール掛けが施されておらず鋸横断面の変形が殆どないため、鋸がその幅方向の全体にわたって鋸車と接触したためと考えられる。水平仕上げの鋸での感圧紙の結果は杉原ら⁵⁾のそれと一致した。また鋸後縁付近

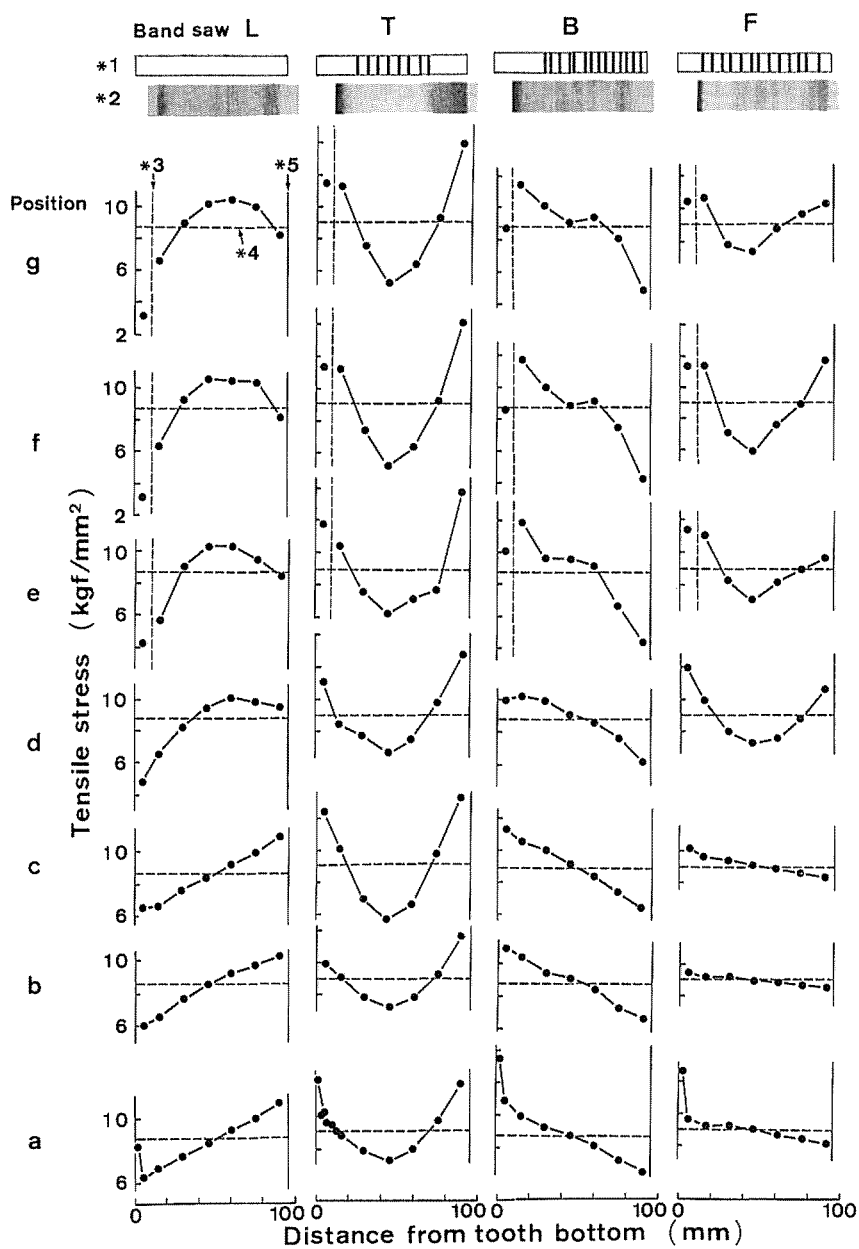


Fig. 2 Typical stress distributions in the four kinds of band saws.
 Note: nominal tensile force (T) 670 kgf, overhang of the saw blade (y) 10 mm.

*1: pattern of roll stretching passes in the sawblade. bold bar denotes the pass.

*2: contact pressure distributions measured by the pressure measuring film at position e.

*3: position of front rim of the upper wheel.

*4: average tensile stress measured by the load cells.

*5: position of the rear edge of the band saw.

で濃い発色が見られるのは上部鋸車の傾斜により、この部分で鋸と鋸車が強く接触したためである。さらに鋸車の前縁付近にあたる部分での濃い発色は、わずかではあるが鋸の接合加工の不良により生じた見掛け上の背盛りの効果によるものと考えられるが、これについては次に鋸Bにおいて検討する。

鋸Bの位置aでの応力分布は鋸Lと同様歯底付近の応力集中の部分を除き鋸幅方向に対して直線的に変化した。その傾きは鋸Lとは反対で、鋸後縁程応力は低くなった。また感圧紙には鋸車前縁にあたる部分で濃い発色が見られた。鋸Bは背盛りのみの鋸で、図2上部のロール掛けの位置を表す模式図が示すように鋸後縁付近で集中して長さ方向に圧延されている。その結果、鋸は全長の最も短い前縁付近で鋸車と強く接触すると考えられる。その結果、杉原らの結果⁹⁾にもあるように、この部分で感圧紙は濃い発色したと言える。そしてこのような断面形状の鋸Bを鋸車間で緊張すると、主に鋸車前縁付近で鋸を引張る結果、鋸Lで見られた鋸車の傾斜による曲げとは反対に鋸を後縁側に曲げるようなモーメントが生じ、図2の位置aに示すような応力分布が生じたと考えられる。この鋸車前縁部の鋸との接触は鋸Lのように真直に接合されないために生じた前・後縁での鋸全長の差による見かけ上の背盛り量をもつ鋸にも見られる。

鋸Bでも鋸Lと同様位置aからcでの応力分布には殆ど差はなく、位置dでは鋸幅中央付近で応力が大きくなった。しかし一旦鋸が鋸車と接触すると位置eからgでの応力分布が示すように鋸車前縁付近で大きな引張応力が作用し、その応力は鋸後縁に向かって低下してゆく。鋸と鋸車の接触圧力は、鋸が鋸車上でその長さ方向に引張られる際に発生する圧力であり、鋸と鋸車が接触する部分では引張力が大きい程接触圧力も高くなる。従って感圧紙が濃い発色した部分では引張応力も高いと考えられる。例えば鋸Bは前述のように鋸車前縁付近で接触圧力が高くなっているが、これは鋸が特にこの部分で局部的に強く引張されかつ鋸車と接触したため、この付近では応力分布は急激に変化していると考えられる。従って図2では歯底から5mmの位置の測定点と15mmのそれとは結ばなかった。

また鋸Lの鋸車上での応力分布は前述のように上に凸の放物線状であり、感圧紙にも鋸幅中央付近にやや濃い発色が見られる。しかし前・後縁付近の濃い発色に対応する応力の上昇は見られない。この原因の一つに鋸後縁では濃い発色部に対応する応力値がないこと、前縁についてはPahlitzschら⁷⁾が指摘しているように、鋸幅方向の応力も測定しこれによって長さ方向の応力を補正しなかったことが考えられる。しかし、感圧紙による接触圧力分布の測定結果との比較から今回測定された応力分布によっても鋸車上での応力の分布状態は概ね知りうる。

鋸Tは主に鋸幅中央付近を中心にロール掛けされた腰入れのみの鋸である。ロール掛け位置の模式図では、圧延の強さや同一場所での圧延回数は示されていないが、鋸Tの腰入れの程度は通常使用される鋸のそれよりも強い。鋸Tは腰入れの結果、鋸幅の中央付近での全長が他の部分より若干長い。鋸車前縁および鋸後縁付近で鋸車と強く接触し、感圧紙でもこれらの部分で濃い発色が見られた。その結果引張応力分布は下に凸の放物線状になり、その分布形状は鋸車上でも自由部分でも変わらなかった。自由部分の応力は一般的にはL、Bで見たように鋸幅方向で一定の引張応力と曲げ応力からなると考えられるが、鋸Tではロール掛けによって極端に鋸の断面形状が変化するため引張応力が鋸幅方向で均一に分布しなかったと考えられる。

鋸Fは腰入れ・背盛りを施した通常使用される仕様の鋸である。感圧紙の発色状態から鋸は鋸車前縁付近で強く、鋸後縁付近でやや強く鋸車と接触しており、鋸車上での引張応力分布は下に凸の放物線状となった。この分布形状は鋸と鋸車が離れる位置の近傍dにおいても見られたが、位置aからcでは鋸L、Bと同様応力分布は直線状であった。従って鋸Fの自由部分の応力も引張応力と鋸Bで見られた曲げ応力からなると考えられる。

以上腰入れ・背盛りの異なる4種類の鋸の緊張時の応力を調べた結果、鋸によって応力の鋸幅方向の分布形状に差があること、その差は杉原らの結果⁵⁾にも見られた鋸と鋸車の接触状態の差によって生じる曲げや引張応力の差によると考えられること、鋸の自由部分の端部付近では応力の分布が変化することがわかった。また緊張力を変えた場合にいずれの鋸にも応力分布の形状に変化はなかった。

3. 2. 上部鋸車傾斜角度と応力分布

図3は上部鋸車の傾斜角度(θ)を変え、鋸の出を7, 10, 15 mmとした時の位置 a, e での引張応力の分布と位置 e での感圧紙の発色状態、および予め求めておいた較正曲線を用いて感圧紙の濃度を接触圧力に換算して求めた接触圧力分布図を示す。感圧紙の測定範囲は図に示したように5—25 kgf/cm²であるが、3 kgf/cm²の圧力から発色が始まる。

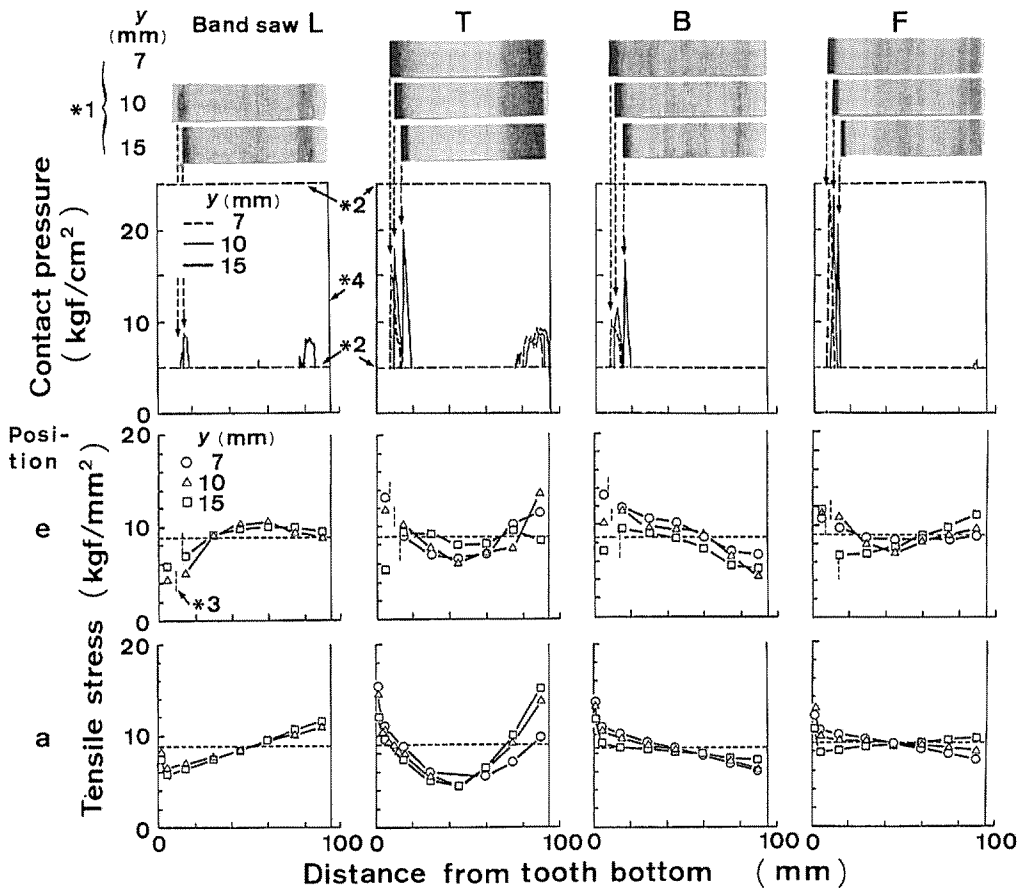


Fig. 3 Distributions of the stress in the band saw and the contact pressure between the band saw and the wheel for three overhangs of the sawblade.

Note: nominal tensile force (T) 670 kgf.

*1: pressure measuring film.

*2: the pressure measuring film used has a measuring range 5-25 kgf/cm².

*3: position of the front rim of the upper wheel.

*4: position of the rear edge of the band saw.

傾斜角度 θ を大きくすると鋸をその幅方向の面内で歯側に曲げようとするモーメントが作用し、その結果鋸の出が大きくなると同時に歯側での引張応力は低下し後縁では増大すると考えられる。この傾向は位置 a においていずれの鋸でも認められ、特に鋸 F では鋸の出を5から 15 mm に変化させると応力分布の傾きは負から正に逆転した。また鋸の出の変化に対する応力の変化量は鋸によって異なった。これは鋸によって鋸車との接触状態に差があり、一定の鋸の出の変化に対する鋸車の傾斜角度の変化分とその結果として生じる曲げモーメントが異なるためと考えられる。

位置 e での傾斜角度 θ の変化に対する応力分布の変化のし方も位置 a と同様と予想されたが、結果的には位置 a ほど明らかではなかった。一方位置 e での感圧紙による接触圧力分布から、鋸 L, T では鋸車の前縁および後縁付近に接触圧力のピークが見られることがわかる。鋸 B, F では鋸車前縁にあたる部分で接触圧力に鋭いピークが見られたが、これらの結果も杉原ら⁹⁾のそれと一致する。鋸車前縁でのピークの高さは鋸 L, T, B, F の順に高く、鋸 F では 20-25 kgf/cm² に達した。

傾斜角度 θ を大きくしていくと鋸前縁での接触圧力のピークは鋸 L, T, B では大きくなり、鋸 F では小さくなった。接触圧力が引張応力に比例するとすれば、測定点数が少なく必ずしも明確ではないが、位置 e での応力分布で鋸車前縁に当たる部分（図中縦破線の右部分）の応力が鋸の出を大きくするにつれ低くなる傾向にあることから、鋸前縁付近での接触圧力の分布のピークも鋸の出とともに低下すると考えられる。しかし結果では鋸の出とともにこのピークが低下したのは鋸 F のみであった。この原因には杉原ら⁹⁾も考察しているように鋸の出によってはロール掛けの位置が鋸車前縁にあたる場合が生じるなど鋸と鋸車の接触状態が複雑に変化することや今回考慮しなかった鋸幅方向の引張応力の影響も考えられる。

鋸 L, B, F のように自由部分の引張応力が鋸幅方向で直線的に変化する鋸でも図 2 の位置 d, e や図 3 の e で示したように、鋸と鋸車が接触を開始する点付近で応力分布は急激に変化する。すなわち鋸 L, B の位置 d での応力分布は上に凸の形状になり、また鋸 L では鋸前縁での応力が後縁より低いのに対して、鋸 B では逆になった。また鋸 T, F では応力は下に凸の分布となり、鋸の前・後縁付近で引張応力の高い部分が見られた。このような自由部分両端や前述の自由部分での応力分布の差によってこれらの鋸の曲げやねじり剛性には差があると考えられる。試みに各鋸の歯先に横方向の荷重をかけ変位を測定し、横方向の剛性を求めてみた。その結果、鋸 L は 1.75, T は 1.22, B は 1.33, F は 1.17 mm/kgf となった。さらに鋸 L, B, F について上部鋸車の傾斜を変え、位置 a での応力分布をほぼ同じにして剛性を求めると、鋸 B, F には差がなかったが、L は B, F の約 75% になった。この差は前述のような応力分布の鋸による差が原因であり、特に鋸 L は歯先での引張応力が他の鋸よりも低かったため剛性も低くなったと考えられる。

4. 結 言

緊張時の帯鋸横断面に発生する引張応力の鋸幅方向の分布と鋸と鋸車の接触圧力分布を測定した結果、ロール掛けによる圧延によって腰入れや背盛りされた鋸は、全長の最も短い鋸前縁で鋸車の前縁付近と強く接触するため、鋸断面には緊張による引張応力だけでなく鋸幅方向の面内での曲げ応力も作用すること、ロール掛けのない帯鋸でも上部鋸車の傾斜によって曲げ応力が発生するが、上述の腰入れや背盛りされた鋸に発生する曲げ応力は鋸車の傾斜による応力とは逆に、鋸幅方向の面内で鋸を後縁側に曲げるように作用し、その結果、鋸の歯側では後縁側よりも引張

応力が高くなることがわかった。腰入れや背盛りされた鋸にはこのような応力が生じることにより歯先付近での横方向の剛性が高まり、ひき材中に鋸歯に作用する力によっても変形しにくく、ひき曲がり量の少ない製材が可能となる⁹⁾と考えられる。

今後、今回得られた知見をもとに腰入れ・背盛りと鋸の剛性や外力による変形を詳しく検討していく必要がある。

引用文献

- 1) ANDREJ, A. P. : Eine neue Methode zur Berechnung der Auslenkung von Bandsägeblättern. Holztechnologie. **27** (3). 146-148, 1986
- 2) BRONCHELT, J. E., ULSOY, A. G. and PAPALAMBROS, P. : Efficient Computation of Band Saw Blade Stresses. Trans. of ASME. **106** (9). 394-400, 1984
- 3) EKLUND, U. : Pressure Guides at Timber Receiving Bandsaws. Svenska Treforskningsinstitute Rep. **244**, 1974
- 4) MOTE, C. D. Jr. : Divergence buckling of an edge-loaded axially moving band. Int. J. Mech. Sci **10**. 281-295, 1968
- 5) 杉原彦一・服部順昭・藤井義久：帯鋸のここの車の接圧力分布，木材工業，**36** (4) 17(167)-22(172)，1981
- 6) THUNELL, B. : The Stresses in a Band Saw Blade. Paperi ja Puu. **54** (11). 759-764, 1972
- 7) PAHITZSCH, G., PUTTKAMMER, K. : Die Beanspruchungen von Bandsägeblättern : Spannungen und Festigkeitsgrenzen. Holz als Roh- und Werkstoff. **30**. 165-174, 1974
- 8) 久野陸夫・土肥 修・山下良雄：帯鋸の腰入（第8報）帯鋸の緊張歪，北大工研究報告，**17**，1957
- 9) 藤井義久・服部順昭・野口昌巳・奥村正悟：帯のこにかかる力とひき材精度，京大演報，**56**. 252-260, 1984

Résumé

The distribution of longitudinal stress in a cross section of a band saw and the contact pressure distribution between the saw and the wheel of the machine was measured for four kinds of saws with strain gauges and pressure measuring film, respectively. The influence of tensioning and back stretching in the saws as well as the inclination of the wheel on the stress distribution was investigated.

The stresses in the cutting span of the saws, L (neither tensioned nor back stretched), B(back stretched), F(both tensioned and back stretched), changed linearly along the width of the saw blade, except that the distribution for saw T (tensioned) was parabolic. When the inclination angle of the upper wheel was increased, the gradient or the form of the stress distribution changed so that the stress in the front part of the saw was decreased. It is considered that the stress in the cutting span consists of the tensile stress, distributing uniformly along the saw blade width, and the bending stress in the plane of blade width. It was revealed that this bending stress is influenced not only by the inclination of the wheel but also by another bending, that is caused by the tensiling of the saws tensioned or back stretched and influenced by the contact state of the saw with the wheel. It is considered that the parabolic stress distribution for saw T is due to the strong roll stretching in the middle of blade width. The stress on the wheel for saws T and F was large at the front rim of the wheel and the rear edge of the saw, for saw B at the wheel rim, and for saw L in the middle of the blade width. According to these stress

distributions, the contact pressure distribution for saws T, B and F had a discrete peak at the front wheel rim, for saw T also a low broad peak near the rear edge of the saw. On the other hand, the contact pressure for saw L was low almost over the saw blade width. It was also revealed that the stress distribution changed near the end of the cutting span.