

報告番号

※甲 第1375 号

主論文の要旨

題名 樹幹の生長応力と残留応力との
関連についての基礎的研究

氏名 佐々木康壽

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

佐々木康壽

肥大生長によつて新しくつくられた樹幹の木部には、生長の原因が
みづみと、それに相応する応力すなわち生長応力が発生する。

一方、樹木が連年生長する過程で生じる生長応力が原因となつて、
樹幹内部には固有の応力分布が形成される。これを残留応力と呼んでゐるが、一般に、広い意味で、生長応力
と呼ぶ場合もある。

この残留応力が原因となつて、樹木伐倒時や玉切り時に
心割れが生じ、丸太製材時には曲り、反り等の損傷が発生する。
これらの現象は、木材加工時における品質値下および歩留り値下の主要
原因となつており、木材資源の有効利用の面からも好ましいことではない。
こうした障害を解決するためには、残留応力分布形成の原因
である生長応力の発生についての基礎的な研究を進めると共に、
樹幹内部の残留応力分布状態を的確に把握することが必要で
ある。

このようなことから本論文では、連年、年毎に樹幹最外層の
形成層帯で発生すると仮定した生長応力が樹幹内部に
重なり合つて残留応力分布を形成しているという「生長応力
の重ね合わせの考え方」の視点に立ち、生長応力に最も近い
値であろうと思われる樹幹の表面応力の測定及び樹幹
内部の残留応力分布の測定を行つた。すなわち、表面応力
の測定にはワイヤーストレインゲージを用いた。そして樹幹の表面
縦、横二方向にワイヤーストレインゲージを貼付し、その周囲に深さ
約1cmの切れ込みを入れ、表面応力を解放させ、そのみづみを
読みとつた。また、樹幹の内部応力の測定には、中ぐり法
を適用し、樹幹の中心から順次拡大中ぐりするこゝにより生じる
樹幹表面のみづみ変化もワイヤーストレインゲージにより
測定した。中ぐり法は、元来、金属材料のために開発
された方法であるため、樹木の幹のような不均質異方性体

に適合させるために新たな残留応力計算式の誘導を試み、測定に通用した。

1. 表面応力の測定

生長応力の発生について考察するため、生長応力発生時の影響を大きく受け、生長応力に最も近い値を示すであろうと考えられる表面応力を測定し、生長応力の発生する場所、発生する時期及び大きさに関するデータを収集した。

得られた結果を次に示す。

(1). 樹木の地上高を違えて測定した表面応力は、地上高の高い部位でも、低い部位でも、ほぼ一定値を示した。スギ材では、繊維方向では、約 40 kg/cm^2 の引張応力、接線方向では約 2 kg/cm^2 の圧縮応力であった。

(2). 樹幹の外側から数段階にわたって外層を取り除き、その時々で測定した表面応力は、樹幹の外周部から内周部に至るまで、ほぼ同様の応力値を示した。

これらのことから、「生長応力の重ね合わせの考え方」が実験的に明らかになった。

(3). 一年を通じて行なった季節別の測定においては、繊維方向では、当年生長層の表面応力値は、樹木の生長期間を通じて増加し、生長休止期に至り、前年生長層の値と一致、一定値をとる。接線方向では、当年生長層の表面応力値は、生長期、生長休止期の一年間を通じて増加し続け、一年後に前年生長層の値と一致する。

(4). 一年間に発生する生長応力と肥大生長量(年輪幅)との間には、相関関係が認められた。このことは、生長速度は、発生する生長応力の大きさとは無関係であることを示すものである。

- (5). 樹皮部の解放ひずみは、生長最盛期(6月下旬)には大きな値を示す。繊維方向の力は、引張力(解放すれば縮む)であり、接線方向では、木部の場合(上記(1))とは異なり、引張力を示した。このことは、形成層の生長による膨張を樹皮が拘束していることを示し、その膨張率は、最大 0.06% であると推定された。
- (6). 一方、繊維方向の残留力分布が原因となつて生じる丸太製材時の曲りも季節別に測定した結果、季節の違いによる曲りの値に差は認められなかった。このことは、生長力は樹幹の表層部以外では発生していないことを示している。

これらの結果より、生長力とそれに起因する残留力の発生に関して以下の事が明らかになった。

すなわち、生長力は、樹幹最外層の形成層帯で、毎年ほぼ一定の大きさで発生し、その値はほぼ表面力に等しいものと考えられる。そして、この生長力が、連年、樹幹内に弾性論的に積み重ねられて、残留力分布を形成するものと考えられる。また、繊維方向生長力の発生は、夏材形成時期にほぼ完了するが、接線方向生長力の発生には、ほぼ一年を経た形成層活動休止期の11月以降に完了するものと考えられる。

2. 不均質性を考慮した異方性円筒における残留力計算式

上記の考察の過程で、樹幹内の残留力分布を正確に推定することの必要性を認識し、樹幹を不均質な異方性円筒と仮定した樹幹内の残留力分布を求めるための計算式を新しく誘導した。すなわち、樹幹内の夏材部分と心材部分、あるいは成熟材部分と未成熟材部分等における

弾性定数の違いを考慮に入れ、弾性定数が樹幹半径の関数として変化する場合の残留応力分布を求める計算式を誘導し、これを実際の樹幹丸太に適用して残留応力分布を求めた。さらに、この結果と、従来の土肥・片岡による不均質性を考慮しない場合の計算式から求めた結果とを比較し、かつ誘導した残留応力計算式について考察した。

要約すれば以下のものである。

- (1). 不均質性を考慮した場合の樹幹の残留応力分布を求める計算式は、次のように示される。ただし、 σ_T , σ_L , σ_R は求める残留応力であり、 θ , λ は中径 r の関数で測定される丸太表面での値である。その他は、弾性定数であり、やはり、半径 r の関数である。

$$\sigma_T = r \frac{d\theta}{dr} \cdot I_1 + r \frac{d\lambda}{dr} \cdot I_2 - \frac{E_T(r)}{2(1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r))} \left\{ \left(\frac{r_a}{r} \right)^{t(r)+1} + \left(\frac{r}{r_a} \right)^{t(r)-1} \right\} \theta + 2\mu_{LT}(r) \cdot \lambda$$

$$\sigma_L = \frac{d\lambda}{df} \cdot I_3 + \frac{d\theta}{df} \cdot I_4 - \frac{E_L(r)}{2(1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r))} \left[2\lambda + \mu_{TL}(r) \left\{ \left(\frac{r_a}{r} \right)^{t(r)+1} + \left(\frac{r}{r_a} \right)^{t(r)-1} \right\} \theta \right]$$

$$\sigma_R = \frac{E_T(r) \cdot (r_a^{2t(r)} - r^{2t(r)})}{2(1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r)) \cdot t(r) \cdot (r_a^{2t(r)} + r^{2t(r)})} \left\{ \left(\frac{r_a}{r} \right)^{t(r)+1} + \left(\frac{r}{r_a} \right)^{t(r)-1} \right\} \theta + 2\mu_{LT}(r) \cdot \lambda$$

$$I_1 = \int_r^{r_a} \frac{E_T(r)}{2(1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r))} \cdot \frac{1}{r} \cdot \left\{ \left(\frac{r_a}{r} \right)^{t(r)+1} + \left(\frac{r}{r_a} \right)^{t(r)-1} \right\} dr$$

$$I_2 = \int_r^{r_a} \frac{E_T(r)}{1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r)} \cdot \frac{\mu_{LT}(r)}{r} dr$$

$$I_3 = \int_f^{f_a} \frac{E_L(r)}{1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r)} df$$

$$I_4 = \int_f^{f_a} \frac{E_L(r) \cdot \mu_{TL}(r)}{2(1-\mu_{TL}(r)\mu_{LT}(r))} \left\{ \left(\frac{r_a}{r} \right)^{t(r)+1} + \left(\frac{r}{r_a} \right)^{t(r)-1} \right\} df$$

- 1). 誘導した計算式により、樹幹内の残留応力を求めるための実験操作は、従来通りの Mesnager - Sachs あるいは土肥・片岡の、旋盤を用いる「中どり法」と同じでよい。
- 2). 誘導した残留応力計算式について、特殊な場合として、計算条件を土肥・片岡による計算式の場合と同一にした時、すなわち弾性定数について均質性を条件に入れて計算した結果、土肥・片岡式による計算結果と一致した。
- 3). 誘導した残留応力計算式により求めた残留応力分布をもとにして、丸太製材時に起こる曲りを推測したところ、実測値と比較的よく一致した。

以上の事から、本論文で誘導した、不均質材料のための残留応力計算式の正当性が確かめられた。

- (2). 誘導した計算式を用いて求めた樹幹内残留応力分布は、ヤング率分布パターンの違いに伴い、異なる分布パターンを描く。実際の樹木（例えば、針葉樹小径丸太）に見られるように、繊維方向ヤング率が、樹幹の表層部で急激に大きくなるような場合には、ヤング率分布が一定（外周部から内周部に連続して同じ値の場合）と仮定して計算した結果と比較して、樹心付近の圧縮残留応力が小さな値であることがわかった。

以上の事から、実際の樹幹丸太の残留応力分布状態を的確に把握するためには、弾性定数の樹幹内半径方向に沿った変動を考慮して、誘導した計算式を用いるべきであることが知られた。