琉球大学学術リポジトリ

破壊した木材の細胞の変形 : 第 2 報 切線断面の Slip plane(林学科)

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 林, 弘也, 実吉, 安彦, Hayashi, Hiroya, Saneyoshi, Yasuhiko メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3912

破壊した木材の細胞の変形

第2報　切線断面の Slip plane

林　弘也*・実吉安彦*

Hiroya HAYASHI and Yasuhiko SANEYOSHI : Deformation of cell wall in wood

Summary

Influence of early and late wood and ray on the slip planes in radial tracheid walls of SUGI－wood (*Cryptomeria japonica*), which was subjected to longitudinal compression, was studied by polarizing microscope.

The number of slip planes were much the same number in wood within one growth increment of failed wood. But slip planes were more numerous in tracheid walls contact with ray than other tracheid walls. Slip planes of the tracheid walls in contact with ray developed preferentially at the tracheid walls in contact with ray margin and decreased exponentially from ray margin to center cell of the ray in late wood, But in early and transition wood, they did not decrease exponentially.

Relation between strain and slip planes in radial and tangential wall of tracheid was summarized as follows. In the limits of 120% strain to the strain at maximum stress, slip planes in tangential walls of tracheid developed more at the walls in contact with ray than walls out of contact with ray. At the higher strain, slip planes developed more at walls out of contact with ray than walls in contact with ray.

In radial walls of tracheid, slip planes developed preferntially at walls in contact with ray. Development of slip planes in tracheid walls were diffrent between radial and tangential wall of tracheid. And the mechnism of strain development in a tracheid was considered to be different at the tangential and radial wall of a tracheid.

* 琉球大学農学部林学科

琉球大学農学部学術報告　34：75～81（1987）

緒　　言

荷重を受けた木材の挙動は従来から力学的な研究や組織学的な研究など多くの研究がある。なかでも繊維軸方向に圧縮荷重を受けた木材の挙動は強度的な意味から重要視されるばかりでなく，荷重によって生じた木材の構造変化を各応力レベルごとに観察できるという点でも注目され，破壊研究の対象に取りあげられてきた。木材の破壊過程はミクロからマクロな変形過程まで広い範囲に及んでおり，更に木材を構成する細胞や組織が係りがあり，解析を難しくしているばかりでなく，ミクロおよびマクロな変形過程の研究方法が異なっているために両変形過程を相互に結びつけるには至っていない。圧縮荷重によって生じる基本的な細胞壁の構造変化は"Slip plane"であるが，このSlip planeの発生および発達の過程と細胞の変形との関連性を明らかにすることがマクロな変形の発生や破壊過程の研究に基礎的な知見を与えると考えられる。本研究では，偏光顕微鏡で検出される細胞壁内の構造変化と早・晩材や放射組織との関連性を検討することを目的とした。

実験材料および方法

実験に供した材は沖縄県国頭村与那産の53年生のスギ（*Cryptomeria japonica*）材である。髄からの生長輪数30以上の成熟材の材部を丸太から採取し，横断面が25 mm × 25 mm，繊維軸方向の長さが約600 mmの棒状材を切り出した。各々の棒材から長さが120 mmの試験体用のブロックを連続して3個採取し，それぞれを試験片に加工した。試験片の形状はFig. 1に示した。試験片は気乾状態の供試材から採取したのちに約20℃の恒温室で含水率13～14%に調湿し，強度試験に供した。圧縮試験は島津製作所製万能試験機RCS－R－5000型を使用し，室温20℃，相対湿度約65%で行った。

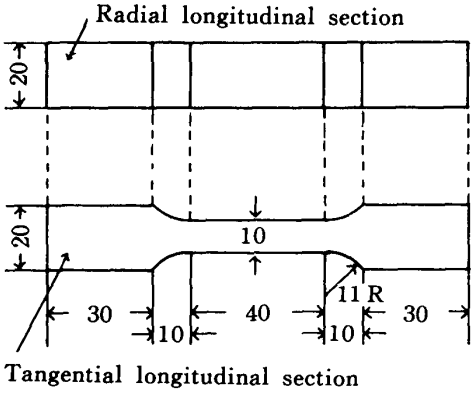

Fig. 1　Dimension of compression test specimen (Dimension in mm)

圧縮試験の後に試験片の断面が最も狭い部分を4個のブロックに分割し，各ブロックからエルマ光学製スライディングミクロトームを用いて，検鏡用の切線断面および放射断面の切片を連続的に採取した。切片用ブロックは，飽水状態にした後に，切片用ブロックの繊維軸方向がミクロトーム刃のエッジと平行になるようにミクロトームに設置した。ブロックから厚さ15～18 μm の切線断面または放射断面切片を2切片毎に1切片を取り，合計20切片の永久プレパラートを常法によって作製した。

Slip planeは日本光学製の偏光顕微鏡により，直交ニコルの下で全プレパラートを観察した。

1生長輪の材部を仮道管接線壁の厚さに対する放射方向の仮道管内腔の径の比に基き，早材部，早材から晩材への移行材部，晩材部の3材部に区別した。材の区分は比が1.7以上を早材部，1.1～1.7未満を移行材部，1.0以下を晩材部とした。

実験結果及び考察

圧縮荷重を受けた木材細胞壁の構造変化はWardrop, Dadswellら[3]，Dinwoodie[1]，Kisserら[2]の定

義があるが，それぞれの定義は，Slip plane が仮道管壁の構造変化であることでは一致しているとは言うものの，一致しているとは言い難い点もある。本研究では，Slip plane を仮道管壁の構造変化を示す基本単位と考え，互いに接する2仮道管壁を1単位にし，単壁型と両壁型の2型に区分した。[4] Slip plane の模式図を Fig. 2 に示し，本報告は主に切線断面の Slip plane について検討した。

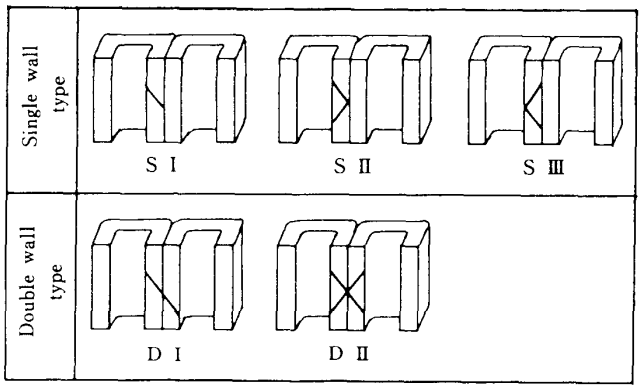

Fig. 2 Schematic diagram of slip planes

1 Slip plane と仮道管との関係

仮道管は生長輪内の位置によって細胞壁の厚さ，細胞内腔の幅，細胞の長さなど細胞の形状が異なっており，圧縮荷重を受けたときに変形も異なっていると考えられる。最初に1生長輪内での仮道管の位置と Slip plane の発生状態との関係を検討した。

破壊した試験片に生じた各材部の Slip plane 発生数を Fig. 3 に示した。Slip plane 数は材部によって異なっており，早材部と移行材部に比較して晩材部の Slip plane 数は少ない傾向にあった。放射断面の Slip plane がどの材部もほぼ同数であったことと異なり，注目されるが，これは仮道管の形態にも起因しているように思われる。切線断面の仮道管壁は仮道管の放射壁であり，晩材部仮道管の放射方向の長さは他の材部の仮道管に比較して短いので，繊維軸方向の圧縮荷重を受けたときに1つの単位壁としてよりは仮道管の切線壁の1部としてひずみを生じるような変形をし，切線壁の Slip plane に含まれていることも考えられる。

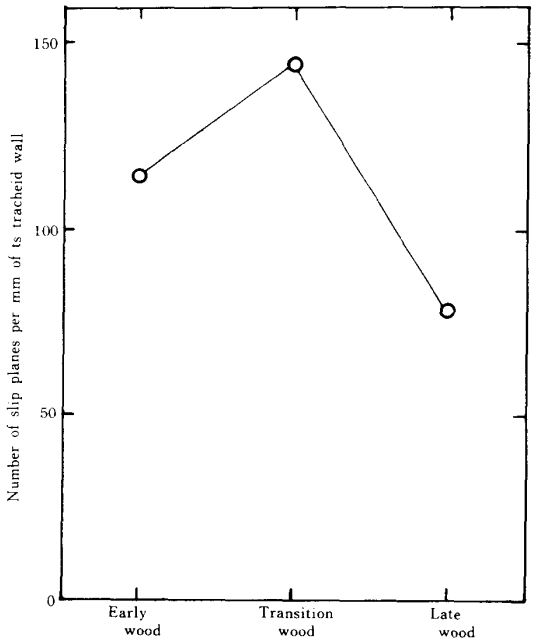

Fig. 3 Relationship of number of slip planes to woods in a growth ring at tangential section (120% strain level to the strain at maximum stress.)

Slip plane の位置は放射組織に接する仮道管壁と接しない仮道管壁では異なり，破壊ひずみに対し 120 %のひずみを与えた場合に接線断面の Slip plane は，早材部の放射組織に接する仮道管壁は接しない仮道管壁の 20.0 倍の発生数に達するが，同じ試験体でも放射断面では約 1.4 倍に過ぎず，放射組織へのひずみの集中を示している。放射組織に接する仮道管壁には著しく多くの Slip plane があり，ひずみの吸収に対する放射組織の影響は顕著であった。Table 1 に切線断面と放射断面のひずみに対する放射組織の影響を示した。

2 Slip plane の発生と放射組織の関係

放射組織が圧縮荷重を受けた木材の細胞壁内の構造変化に影響することは明らかであるが，切線断面では Table 1 に示したように，その影響範囲は放射組織に接する仮道管壁に限られるので，ここでは

Table 1 Number of slip planes per mm in radial and tangential section

	Early wood	Transition wood	Late wood
Radial section			
Out of contact with ray	45.6	29.0	43.3
In contact with ray	64.5	79.9	59.7
Ratio*	1.4	2.8	1.4
Tangential section			
Out of contact with ray	5.4	7.5	2.3
In contact with ray	108.2	136 6	76.6
Ratio*	20.0	18.2	33.3

* Ratio = Out of contact with ray / In contact with ray

Ray margin からの距離と Slip plane の発生数との関係を検討した。Slip plane は放射組織の端に最も近い仮道管壁の部分に最も多く発生するが，晩材部の仮道管壁では放射組織の端からの距離と共に指数関数的に減少する。しかし早材部および移行材部の仮道管壁では放射組織の端からの距離と共に1度は減少するが，放射組織の中央部分の仮道管壁で Slip plane 数が増加する。この Slip plane 数の変化を放射断面の変化と比較すると，放射断面ではいずれの材部でも接線断面の晩材部と同様に Ray margin からの距離と共に指数関数的に減少しており，断面によって放射組織の影響の仕方が異なっていることを示している。放射柔細胞の大きさ，壁厚さなどが早材部，晩材部とも同じであるとするならば，この早材部と晩材部の Slip plane 数の差異は仮道管壁の厚さや分野壁孔などの壁構造の影響を受けていると考えられる。

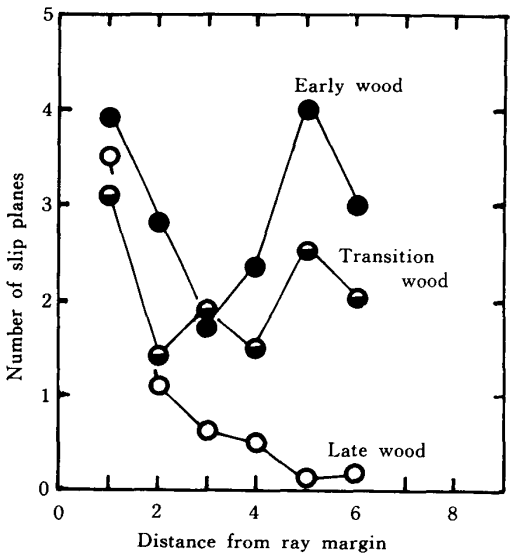

Fig. 4 Relationship of number of slip planes to distance from ray margin

Coordinate axis showed the distance from ray margin was expressed the number of the length from ray margin devided by the average width of the ray parenchyma cell in fiber axis direction of the wood

破壊した材の Slip plane の発生数とその位置との関係は Fig. 4 に示した。

3 Slip plane と木材の縦断面との関係

Slip plane は放射断面，切線断面などの対象断面や早材部，移行材部，晩材部などの仮道管壁によって発生の状態が異なっていることが認められた。負荷荷重によるひずみの大きさや木材の組織構造を基準に Slip plane の発生状態を整理すると次のように考えられる。

放射断面，切線断面の両断面に生じた Slip plane はほぼ同数であり，また早材部，移行材部，晩材部の各材部ともほぼ同数であった。圧縮破壊した材では，同じひずみを与えたときに各材部ともほぼ同じ Slip plane 数を生じることや圧縮ひず

み量が増加するとその値に応じて Slip plane 数も増加することから，各材部ともにひずみがSlip plane として吸収されていると考えられる。Table 2 に破壊ひずみの 120 ，150 %のひずみを与えた時の各材部ごとの Slip plane 数を示した。

Table 2 Number of slip planes per mm in radial section at different strain levels

Strain level*(%)	120	150
Early wood	110.0	316.0
Transition wood	108.9	282.0
Late wood	103.0	355.0

* Strain level = 100 × Produced strain／Strain at maximum stress

Slip plane の全発生数はいずれの材部もほぼ同数であるが，放射組織に接する仮道管壁と接しない仮道管壁の 2 グループに分割すると，Slip plane 数は Fig. 5 のようになる。先ず放射断面では，ひずみ量によって Slip plane の発生数が異なり，ひずみ量が多くなると Slip plane 数も多くなるが，発生位置にも変化を生じる。放射組織に接する仮道管壁は，ひずみ量が小さい弾性域や 120 %ひずみ材では接しない仮道管壁よりも多いが，150 %ひずみ材では少なくなっている。ひずみ量が小さいときには放射組織に接する仮道管壁に集中し，ひずみ量が大きくなり，破壊ひずみの少なくとも 150 %以上になると次第に接しない仮道管壁に集中すると考えられる。特にRay margin に接する仮道管に集中的に Slip plane を生じるが，ひずみ量が大きくなると放射組織の Ray marginの上下にある仮道管壁部分に放射組織のRay marginに接する仮道管よりも多くの Slip plane を生じるようになる。しかし破壊した材でも，放射組織に接しない仮道管壁よりも放射組織に接する仮道管壁に多くの Slip plane を生じるひずみ量領域がある。更にひずみ量が多くなり，少なくとも 150 %以上にひずみ量が大きくなると Slip plane は放射組織に接する仮道管壁よりも放射組織に接しない仮道管壁に多く生じる。[4] Ray margin 付近の仮道管壁の Slip plane の 1 例を Fig. 6 に示した。繊維軸方向の圧縮荷重を受けた仮道管の切線壁では，放射組織に接する仮道管壁は他の仮道管壁よりも多くの

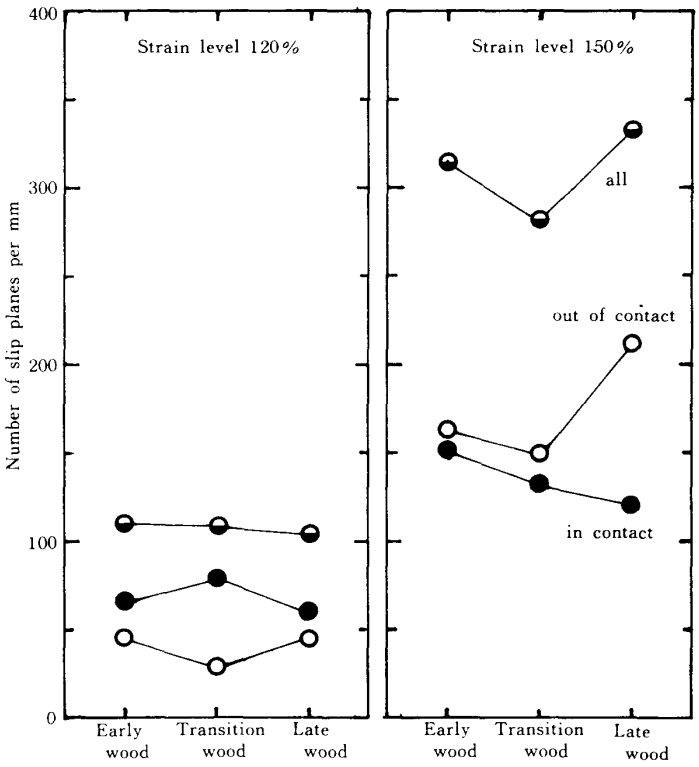

Fig. 5 Relationship of number of slip planes to woods in a growth ring at radial section

Strain level was expressed as a percentage of the produced strain in the specimen to the strain at maximum stress.

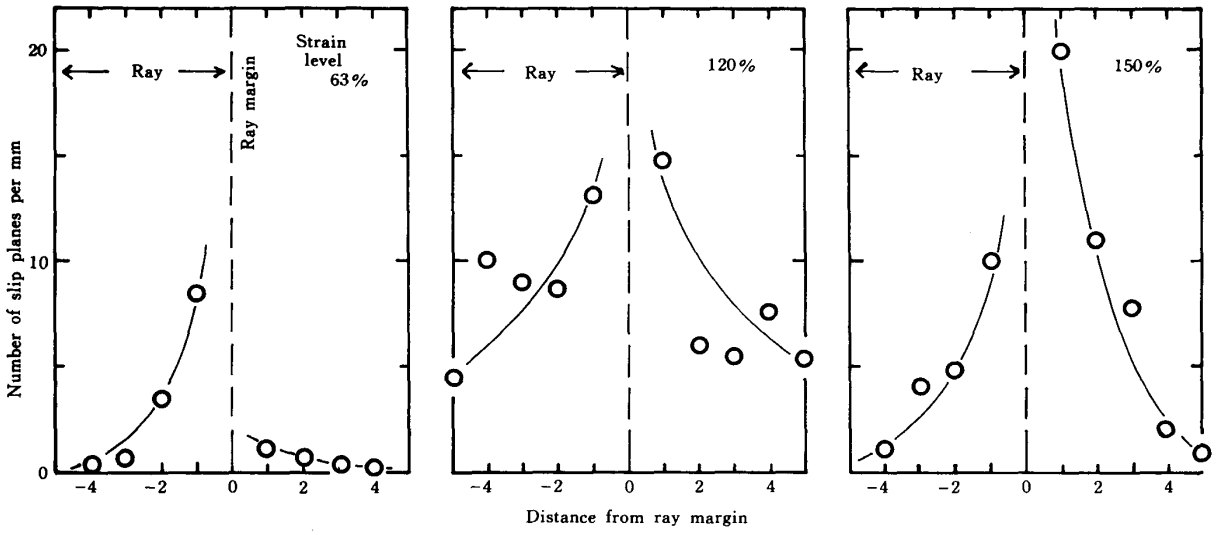

Fig. 6 Number of slip planes of tracheid wall at ray margin

The minus sign of the distance indicated the tracheid wall in contact with a ray. The lateral coordinate axis was the same in Fig. 4.

Slip plane を生じる。切線断面でも Slip plane が Ray margin の放射組織に接する仮道管壁に集中する傾向は同様であるが，放射組織に接する仮道管壁に著しく集中し，他の仮道管壁には殆ど生じない。上述したように，Slip plane は放射断面と切線断面とでは，発生の過程が異なり，ひずみ吸収の機構に明らかな差異が認められた。

結　　論

繊維軸方向に圧縮荷重を受けた木材の仮道管壁の Slip plane を偏光顕微鏡で観察し，次の結果を得た。

1．切線断面で見られる Slip plane は放射組織に接する仮道管壁に著しく集中する。

2．切線断面で見られる Slip plane は Ray margin の放射組織に接する仮道管壁に集中するが，ひずみ量が大きくなると放射組織の高さの中央部分にある放射柔細胞に接する仮道管壁にも Ray margin と同じく多くの Slip plane が生じ，ひずみを吸収する。

3．放射断面では，ひずみ量が小さい場合に，放射組織に接する仮道管壁の Slip plane が他の仮道管壁よりも多いが，破壊ひずみ以上にひずみが大きくなると，放射組織に接しない仮道管壁の Slip plane 数が接する仮道管壁よりも多くなる。

4．破壊ひずみ以上のひずみ量領域でも，Ray margin の放射柔細胞に接する仮道管壁に多数の Slip plane が生じるひずみ量領域と放射組織の上下にある仮道管壁により多くの Slip plane を生じるひずみ量領域がある。

5．Slip plane 数はひずみ量と共に増加するが，放射断面と切線断面とでは Slip plane を生じる位置が異なり，ひずみ吸収の機構に差異が認められた。

引 用 文 献

1) Dinwoodie, J. M. 1968 Failure in timber. Part 1. Microscopic changes in cell wall structure associated with copression failure, J. of inst. of wood science, **4** (3), 37～53
2) Kisser, J., Steininger, A. 1952 Makroskopische und mikroscopische Structuren derungen bei Biegebeanspruchung von Holz, Holz als Roh- und Werkstoff, **10** (11), 415～421
3) Wardrop, A. B., Dadswell, H. E. 1947 Contributions to the study of the cell wall. 5. The occurance, structure and properties of certain cell wall deformation, Aust . C. S. I. R. O. Bull., **221**, 14～32
4) 林　弘也，遠山隆幸，仲田　真　1986　破壊した木材の細胞の変形，琉大農学術報，**33**，221～227

和 文 摘 要

スギ材が繊維軸方向に圧縮荷重を受けたとき，早・晩材や放射組織が切線断面の Slip plane におよぼす影響を検討した。圧縮破壊した材は早材部，移行材部，晩材部の全ての材部にほぼ同数の Slip plane を生じるが，放射組織に接する仮道管壁には集中的に Slip plane を生じる。放射組織の高さ方向の Slip plane 分布状態は Ray margin に最も高密度であり，晩材部は中央部に向かって指数関数的に減少するが，全材部が必ずしも指数関数的に減少しない。

Slip plane 数はひずみ量と共に増加するが，Ray margin 付近には特に多数発生する。ひずみ量が小さい場合に，放射組織に接する仮道管壁の Slip plane は他の仮道管壁よりも多いが，ひずみが破壊ひずみ以上に著しく大きくなると，放射断面では放射組織に接しない仮道管壁の Slip plane が多くなる。

放射断面と切線断面とでは，Slip plane を生じる仮道管の位置が異なり，ひずみ吸収の機構に差異が認められた。