

# 圧縮セットの水分・熱回復\*<sup>1</sup> 含水率および飽水状態下の温度上昇 による回復挙動

飯田 生穂\*<sup>2</sup>

## Hygrothermal Recovery of Compression Set\*<sup>1</sup> The Effect of Moisture Content and Heating in Water on Recovery of Set

IKUHO IIDA\*<sup>2</sup>

要旨：本研究の目的は、前報<sup>1)</sup>で認めた圧縮セットの回復をより詳細に調べ、セットの基本的性格をさらに明確にすることである。3樹種の飽水試片がマイクロ波を照射して熱せられた後、木材半径方向を圧縮され、拘束下で乾燥された。このようにして作製されたセット材について、数段階の吸湿含水率、飽水状態下の温度上昇によるセットの回復量が、それぞれ測定された。

得られた結果は、以下の通りである。

- 1) 木材半径方向を圧縮して作製された圧縮セット材は、Fig. 1に示しているように圧縮した方向（木材の半径方向）と直角の方向（木材の接線方向）に樹種によって著しい寸法の増大を示す。
- 2) 初期のセット量を1としたときの吸湿含水率、ならびに温度上昇によるセットの変化は、セット量の大小によらないほぼ等しい値を示した。このことは、セットの基本的性格がセットの程度によって異なることを示唆している。
- 3) 吸湿含水率1%増加あたりのセットの回復量は含水率の増加で漸増した。
- 4) 温度1℃増加あたりのセットの回復量は、20–100℃範囲内のある温度でいずれの樹種も最大値を示した。最大値を示すときの温度は、ヤチダモ、ブナの広葉樹材とラクウショウの針葉樹材とでことなり、広葉樹材に比べて針葉樹材で高い温度であった。

### 1. 緒 言

前報<sup>1)~3)</sup>では、セットの基本的性質を明確にするためセットの水分・熱回復について検討を加え、セットはそれを発生させた条件に再びもっていくと60%以上におよぶセットであってもほぼ完全に回復すること、マイクロ波照射を施し高温度下でセットを発生させた材は水分のみで完全に回復することはなく、飽水熱処理を必要とすることなどを示した。セットのこのような

回復は、木材固有の極めて興味深い性質である。従って、セットの回復の様子を含水率、あるいは温度上昇の過程で詳しく調べてみることはセットの基本的性格をさらに詳細に理解する上で意義深いことと考えられる。

本報告は、吸湿含水率範囲のセットの回復、セット材を飽水状態に保持し、水中で順次温度上昇、次いで下降させたときのセットの回復推移を調べ、セットの基本的性格をより明確にすることを試みたものである。

\* 1：本報告の一部は、第33回日本木材学会（1983年4月、京都）で発表した。

\* 2：京都府立大学農学部 Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto 606  
平成2年8月10日受理

## 2. 実 験

### 2. 1 セット材の作製

供試材料として、ラクウショウ材 (*Taxodium Distichum* Rich.), ヤチダモ材 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) およびブナ材 (*Fagus crenata* Blume) を用いた。気乾比重および平均年輪幅は、ラクウショウ材で0.38および3.44mm, ヤチダモ材で0.64および2.54mm, ブナ材で0.72および1.42mmであった。6 cm (接線方向) × 6 cm (繊維方向) × 3 cm (放射方向) の寸法の飽水状態にある試片を塩化ビニリデンフィルムで包み、それをマイクロ波加熱装置に入れ、2.5分間出力2.4kwのマイクロ波を照射した後すばやく取り出し、ホットプレスを用いて放射方向に圧縮の程度をかえて圧縮した。その後治具を用いて固定し、室温で約3週間、続いて105℃で数時間熱気乾燥し、セットを作製した。

### 2. 2 セット材の水分・熱回復の測定

作製したセット材の中から、セット量の4-5段階に異なるものを選び出し、側面を除去した試料中央部から断面1 cm (繊維方向) × 1 cm (接線方向), 試片長軸1-3 cm (放射方向) の試片を5個採取し、それらを水分・熱回復測定に供試した。5種の飽和塩溶液を用いて、5段階の異なる湿度条件 (30℃, 31.7, 60.0, 75.5, 92.5, 100% R. H.) にしたデシケータを用意し、まず、全乾状態にした試片を最も低湿度条件

のものに入れ、順次高湿度条件のものに移した後、再び低湿度条件のものへと順次移し、吸湿または放湿の過程で試片の寸法と重量を測定した。次いで、水分回復を完全にはかるため全乾状態-飽水状態-全乾状態-飽水状態の処理を施し、その後に水温を16℃から99℃へ順次10ないし5℃間隔で上昇する16段階と、99℃から16℃へ下降する6段階、但し加熱時間は、一定温度に達してからいずれも15分放置後、セット量を測定した。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 圧縮セット量

Table 1 に圧縮セット量を示す。表中にはセット発生前、後の試片の気乾比重についても示してある。表によると、セットの最大値は3樹種いずれも60%以上である。特にラクウショウ材の場合にはセット量が69%にもなっており、供試した3 cm厚さの試片が1 cm以下の厚さの状態に変形固定できることを示している。結果としてセット材の比重は1.0以上の値となる。Fig. 1 に圧縮セット材と無処理材の寸法変化の様子を写真で示す。木材半径方向に圧縮した材は繊維方向の寸法の変化は極めて小さいが、接線方向の寸法がかなり大きくなる。その結果、比重増加の程度は圧縮率にみあった増加として算出される量よりも小さく、増加の程度は樹種によって幾分異なる。

Table 1. Amount of compression set and specific gravity in air-dry of specimens before and after the development of set.

Species	Specimen No.	Set (%)	S. G. - (1)	S. G. - (2)
Rakuusyou	2	0	0.40	0.39
	5	12.7	0.38	0.40
	4	13.0	0.39	0.41
	1	26.9	0.37	0.44
	3	42.6	0.41	0.56
	6	58.2	0.37	0.66
	7	69.0	0.38	1.04
Yatidamo	11	0	0.60	0.60
	12	13.6	0.62	0.68
	13	26.3	0.66	0.82
	14	29.1	0.68	0.84
	15	60.9	0.62	1.11
Buna	21	0	0.71	0.70
	24	12.1	0.74	0.81
	22	20.1	0.72	0.83
	23	25.4	0.73	0.90
	25	63.8	0.73	1.03

S. G. - (1) : Specific gravity in air-dry of specimens before the development of set.

S. G. - (2) : Specific gravity in air-dry of specimens after the development of set.

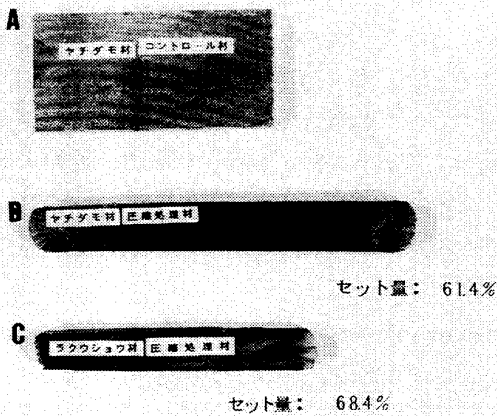


Fig. 1 The dimensional change of the compression set-wood.

Legend : A ; untreated wood for yatidamo, B ; set-wood for yatidamo (The amount of set=61.4%) , C ; set-wood for rakuusyuu (The amount of set=68.4%)

3. 2 吸・放湿, 吸水・乾燥によるセットの回復

初期のセット量を1としたときのその後の吸湿によるセット量の変化を, それぞれの樹種について, Fig. 2, 3, 4 に示す。

図中には, 含水率1%増加あたりのセットの変化についても同時に示している。図によると, 吸湿含水率の増加によるセットの相対的变化は, セットの程度に

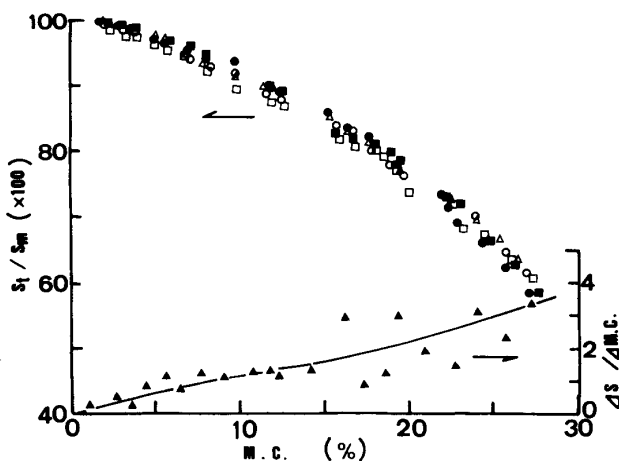


Fig. 2 The change of amount of set by the adsorbed water for rakuusyuu.

Legend :  $S = St / Sm$ ,  $St$  ; The amount of set at the each moisture content,  $Sm$  ; The amount of initial set, M. C. ; moisture content.

- : Set=58.2%, ○ : Set=42.6%,
- △ : Set=26.9%, ■ : Set=13.0%,
- : Set=12.7%

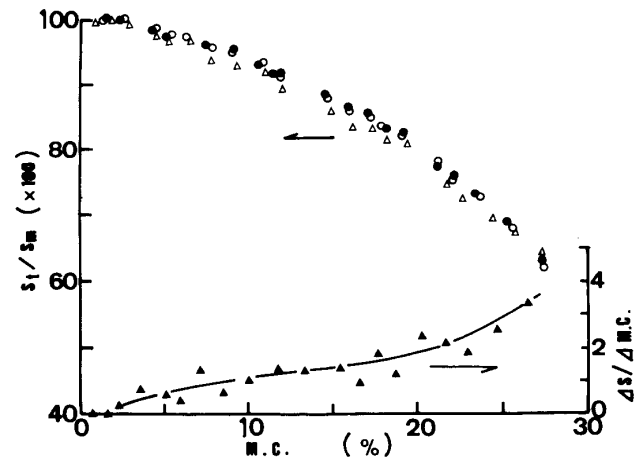


Fig. 3 The change of amount of set by the adsorbed water for yatidamo.

Legend :  $S = St / Sm$ ,  $St$  ; The amount of set at the each moisture content,  $Sm$  ; The amount of initial set, M. C. ; moisture content.

- : Set=29.1%, ○ : Set=26.3%,
- △ : Set=13.6%,

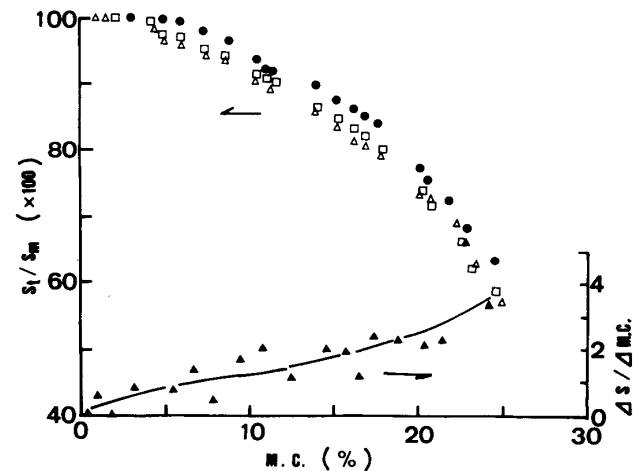


Fig. 4 The change of amount of set by the adsorbed water for buna.

Legend :  $S = St / Sm$ ,  $St$  ; The amount of set at the each moisture content,  $Sm$  ; The amount of initial set, M. C. ; moisture content.

- : Set=25.4%, □ : Set=20.1%,
- △ : Set=12.1%,

よって大差なく, ほぼ等しい類似の曲線とみなしうる。このことは, 吸湿含水率の増加によるセット回復量が発生したセット量に比例していることを示している。すなわち, セットの大小によってセットの基本的な性格に変化はなく, セット量に依存して回復することを示している。このことはラクウシヨウ材で約58%, ヤ

チダモ材で約29%，ブナ材で約25%のセットを発生した材でもいえる。

いずれの大きさのセット量の場合も含水率1%あたりの回復の相対値は，含水率の増加で漸増し，比較的低い含水率では含水率とともにほぼ直線的であるが，含水率20%以上になると，幾分回復の程度が大きくなる傾向を示している。しかし，いずれの樹種の場合も水分のみで完全に回復することはなく，吸湿含水率に

よるセットの回復は初期セット量のせいぜい40%にすぎない。そこで，水分のみで回復するセット量を明確にするために，吸・放湿後，吸水・乾燥を行い，さらに水分によって回復するセット量を調べた。その結果をTable 2に示す。吸・放湿後に吸水・乾燥すると，セット量は吸・放湿による回復を含めて初期の約1/2になる。したがって，なお，約1/2のセットが残存している。

Table 2. Amount of compression set after the treatments of soaking in water and drying

Species	Specimen No.	Residual set (%)	Ratio (%)
Rakuusyou	2	0	0
	5	6.5	51.5
	4	6.9	52.7
	1	13.4	49.9
	3	19.7	46.2
	6	24.1	41.4
Yatidamo	11	0	0
	12	7.2	52.8
	13	12.1	45.9
	14	14.1	48.4
Buna	21	0	0
	24	5.6	46.0
	22	8.7	43.0
	23	10.4	40.9

Ratio : Ratio of the residual set to the initial set.

3. 3 飽水状態下の温度上昇，下降によるセットの回復挙動

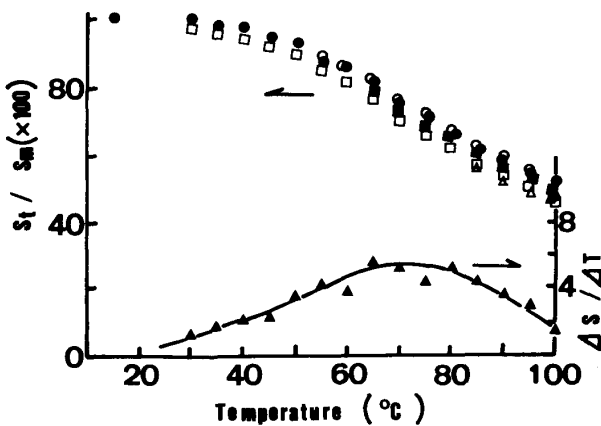


Fig. 5 The change of amount of set by the heating in water for rakuusyou.  
 Legend :  $S = S_t / S_m$ ,  $S_t$  ; The amount of set at the each temperature. ,  $S_m$  ; The amount of initial set ,  $T$  ; Temperature.  
 ● : Set=58.2%, ○ : Set=42.6%,  
 △ : Set=26.9%, ■ : Set=13.0%,  
 □ : Set=12.7%

吸水・乾燥後に残存するセット量を1としたときの飽水状態下の温度上昇によるセットの変化を各樹種についてそれぞれFig. 5, 6, 7に示す。

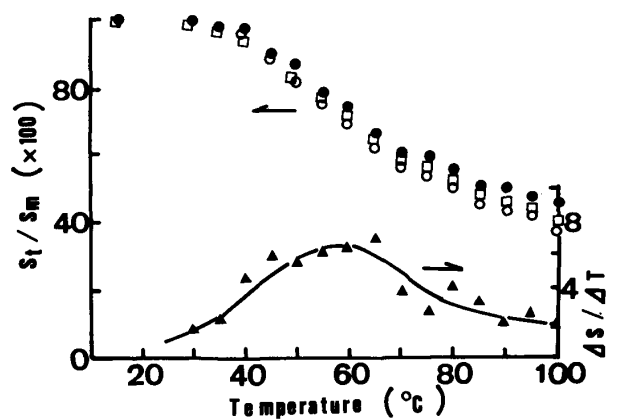


Fig. 6 The change of amount of set by the heating in water for yatidamo.  
 Legend :  $S = S_t / S_m$ ,  $S_t$  ; The amount of set at the each temperature,  $S_m$  ; The amount of initial set ,  $T$  ; Temperature.  
 ● : Set=29.1%, ○ : Set=26.3%,  
 △ : Set=13.6%

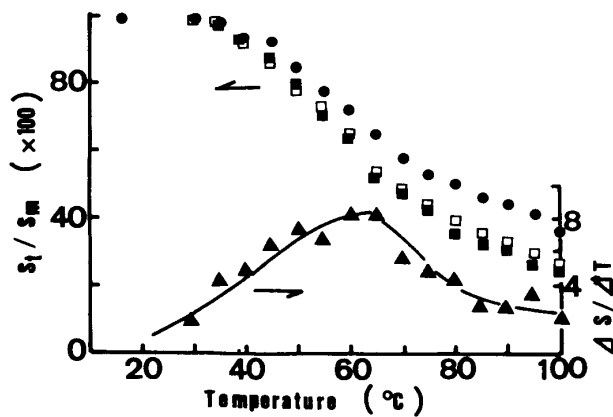


Fig. 7 The change of amount of set by the heating in water for buna.

Legend :  $S = St/Sm$ ,  $St$  ; The amount of set at the each temperature,  $Sm$  ; The amount of initial set,  $T$  ; Temperature.

● : Set=25.4%, □ : Set=20.1%,  
△ : Set=12.1%,

図中には水分回復の場合と同様にして温度1℃増加あたりのセット回復の相対値が示してある。図によると、相対値の温度上昇による変化は、セットの程度によって大差ない値で、水分の場合と同様に基本的にはセットの大・小によってセットの質的变化はないものと推測できる。すなわち、セット量の大きいものは回復の程度も大きく、小さいものは回復の程度も小さいため、相対値はほぼ等しくなったものと解釈できセットの大・小によってセットの性質が異なることはないと考えられる。温度1℃あたりのセットの回復についてみると、3樹種いずれも100℃以下の温度においてセット回復に最大値を示す傾向がみられる。前報<sup>3)</sup>では多くの樹種について水分と温度によるそれぞれの全回復量を調べ針葉樹グループと広葉樹グループの材で水分と温度による回復量に相違のあることを明らかにした。また、その原因として木材構成成分おのおのの水分・熱による特性、すなわち成分のガラスーゴム状態間の変化特性によってその機構を説明した。図において最大値を示すときの温度を3樹種についてみてみると、ラクウショウ材の場合、最大値は70-75℃に、ヤチダモ材の場合、55-60℃に、またブナ材の場合、約60℃に現れている。この結果は、針葉樹材と広葉樹材で最大値を示す温度に違いのあることを示唆している。このことは、前報<sup>1)3)</sup>で示した水分によるセットの回復が広葉樹材で大きく、温度によるセットの回復が逆に針葉樹材で大きいことと関連を有し、矛盾を生じないと考え

られる。すなわち、ヘミセルロースは吸湿性に富む物質で水分によるセットの回復はこのヘミセルロースにおおに関係を持つと考えられる。飽水条件下の温度上昇は、結果的にリグニンの熱軟化と密接に関係を持つものと推測できる。従って、各樹種の最大値を示すときの温度は針葉樹材と広葉樹材リグニンの諸性質の違い、すなわち、針葉樹材のリグニンは、主としてグアイアシルプロパン構造で、広葉樹材の場合、シリリングプロパン構造とグアイアシルプロパン構造が半分ずつ存在するため、あるいはリグニン量において針葉樹材と広葉樹材で約10%の相違があり、加えて細胞の種類により壁中のリグニンの存在状態・分布が異なることに関係していることが考えられる。リグニンの質的性質、その量のいずれかを特定することは、針葉樹材と広葉樹材では両者が大きく異なるために明確にできない。質か量かを明確にすることが今後の課題であり、早急に検討しなければならない。いずれにしても樹種によって最大値のあらわれる温度域が異なることは明かである。

以上の結果をまとめると、前報<sup>1)</sup>で明らかにしたセットの水分回復、ならびに温度回復の針葉樹材と広葉樹材の差異について、特に温度回復については、より以上に急激に回復する温度域が針葉樹材と広葉樹材で異なることが知られた。すなわち、急激に回復する温度域が広葉樹材に比べて針葉樹材の方が高温側に位置する。加えて、セット量の大小によって、セットの基本的性格に差異はない。このことはかなり大きいセット量(25-60%)のものでも言えることがわかった。

#### 引用文献

- 1) 飯田生穂, 則元京, 今村祐嗣 : 木材学会誌, 30 (5), 354-358 (1984)
- 2) 飯田生穂, 則元京 : 木材学会誌, 33 (12), 926-933 (1987)
- 3) 飯田生穂 : 京都府立大学学術報告・農学, 第39号, 62-81 (1987)

#### Summary

The purpose of this study was to minutely investigate the recovery of compression set confirmed in the previous paper<sup>1)</sup>. After the test specimens of three different wood species were heated in the microwave irradiation, they were compressed in radial direction and were dried under restraint. Then, the amount of recovery of set occurring when the set-

woods were subjected to the adsorbed moisture content and the heating in water were measured.

The results obtained were as follows ;

- 1) The set-wood compressed in the radial direction, as show Fig. 1, was obserbed the dimentional enlargement in the direction of its right angle for each wood species.
- 2) The set-wood recived with the adsorbed water and the heating in water, when the amount of initial set were assumed, take about equal values irrelevant to the amount

of set. This will be suggested that the fandamental properties of set take no differ with the amount of the set.

- 3) The recovered set per the moisture content 1% increased with increase of the moisture content.
- 4) The recovered set per the rise of 1°C take the maximum value with the one temperature in the range of 20-100°C. The temperature showed the maximum value appear on the high temperature side with the softwood against the hardwood.