

# 「過熱蒸気処理による木質チップの高耐朽化と土木資材としての性能評価」

奈良県森林技術センター 伊藤 貴文・酒井 温子  
大阪市立大学大学院 土井 正  
奈良女子大学 藤平真紀子

## 1. はじめに

建築解体材や林地残材等、利用率が低い木質系廃材の有効利用を目指して、本研究では、それらから得た木チップを屋上敷設資材や木チップ舗装の骨材など、環境土木資材として使うためのデータ集積を行った。それらの用途には、物性面では耐久性、特に木材腐朽菌やシロアリなどの生物劣化に対する抵抗性（耐朽・耐蟻性）を高めることが必須であり、薬剤を使わない方法として、過熱蒸気による熱処理を試み、処理条件と発現する性能との関係を明らかにした。また、試験施工を行い、施工物としての性能や耐久性についての評価を行った。さらに、当技術の早期実用化を目指して、木質チップに対して連続的に過熱蒸気処理を施すための実験プラントを設計、稼働させた。

## 2. 材料と方法

### 2. 1 過熱蒸気処理と物性の評価

#### 2. 1. 1 材料

構成成分の分析、寸法安定性、吸湿性や耐朽性を評価する試験材にはスギ辺材を用いた。生物劣化抵抗性評価のための試験には、スギ辺材の他、スギ、ヒノキ、ベイマツ、ベイツガならびにアルダーの心材とモウソウチク材も供試した。

#### 2. 1. 2 過熱蒸気処理

バッチ式の過熱蒸気処理装置を用いて、材温を 200～260℃、所定温度に達した後の維持時間を 0.5～72 時間として処理を行った。

#### 2. 1. 3 構成成分の分析

アルベン抽出、続いて熱水抽出を行った後、クラークソン法によりリグニンの定量を行った。

#### 2. 1. 4 吸湿性、寸法安定性の評価

過熱蒸気処理を行った試験材ならびに無処理試験材について、全乾状態での重量および T、R 方向の寸法を測定した後、30℃・95%の条件下で平衡になるまで調湿を行った。含水率と木口面での膨潤率を求め、常法により ASE と MEE を算出した。

#### 2. 1. 5 生物劣化抵抗性の評価

室内腐朽試験、野外での耐朽性・耐蟻性評価試験共に、JIS K 1571 に基づき実施した。

### 2. 2 試験施工と施工物の評価

#### 2. 2. 1 材料

気乾状態にある無処理および、220℃で 24 時間過熱蒸気処理をしたスギラミナをチップパーで粉砕し、その全量を屋上敷設資材ならびに木チップ舗装の骨材として用いた。木チップブロック製造の際には、チップの形状が木チップ舗装の物性に及ぼす影響を調べるために、篩い分けを行った。

#### 2. 2. 2 屋上敷設資材としての性能評価

約 1,900mm 角の桁形の囲いをスギ板材で作り、その中に無処理ならびに過熱蒸気処理したチップを 100mm、150mm および 200mm の厚さになるように敷き詰め、奈良県森林技術センターの屋上に設置した。外気温、チップを敷設した直下(屋上コンクリート面との間)、何も敷設していない屋上コンクリート面、チップ敷設直下の部屋の室温等を測定した。

### 2. 2. 3 舗装用の骨材としての性能評価

無処理および過熱蒸気処理をしたスギチップを骨材として用い、奈良県森林技術センター内にて、ニチレキ(株)の技術による木チップ舗装をした。また、篩い分けをしたチップを用いて、厚さ約 60mm で 300mm 角の木チップブロックを作製した。60 歳以上の健康な高齢者と女子大学生を被験者として歩行性試験を行うと共に、ソフトボール等を用いて、反発係数の測定を行った。

### 2. 3 連続式過熱蒸気処理装置によるチップの熱処理

気乾状態にあるスギチップを、処理 1 回当たり、全乾重量に換算して 24.0kg 用い、以下に示す処理条件で、3 回試験を繰り返して、ロット間のばらつきを調べた。そのうち 1 回の試験では、含水率と重量が既知のスギ辺材試験体 30 体をチップ中に混入しておき、処理前後の全乾重量差から処理に伴う重量減少率を試験体ごとに求め、ロット内でのばらつきを調べた。熱処理槽内に導入する過熱蒸気温度を 365℃、上段の処理槽の電気ヒーター温度を 310℃、下段の処理槽のそれを 300℃に設定した。ホッパーから処理槽への投入量は 1 時間当たり約 7kg、炉内での滞留時間は 1 時間であった。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 過熱蒸気処理条件と付与される性能

#### 3. 1. 1 過熱蒸気処理に伴う構成成分の変化

採用した処理条件で 1.9~17.8%の重量減少があった。詳細については割愛するが、処理によって抽出成分は若干増加する程度であった。リグニンの相対量は顕著に増加し、多糖類は減少した。主にヘミセルロースが熱分解された結果、リグニンの比率が高まったものと思われる。図1には、過熱蒸気処理に伴う重量減少率と、処理前の木粉を基準(100%)として求めた構成成分の増減率との関係を示す。処理時間や温度に関係なく、過熱蒸気処理に伴う重量減少率が高くなるほど、直線的に多糖類は減少した。一方、リグニンとして定量される成分の絶対量は、軽度の過熱蒸気処理で若干減少するが、処理が厳しくなると直線的に増加した。これは、ヘミセルロースの一部がフルフラールのような成分に変わった結果、硫酸による加水分解の際に不溶となり、リグニンとして定量されたものと思われる。

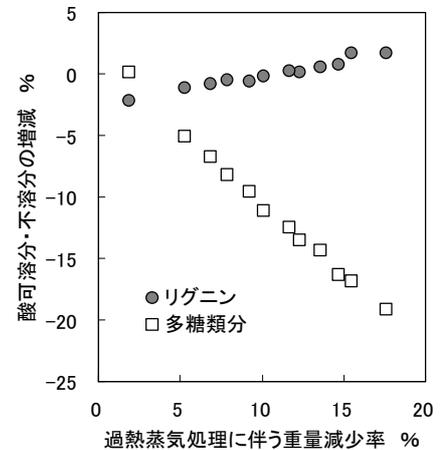


図1 構成成分の変化

#### 3. 1. 2 吸湿性と寸法安定性

図2には処理に伴う重量減少率と MEE、ASE との関係を示す。用いた処理条件の範囲内では、吸湿性は最大で無処理木材のほぼ 1/2 にまで低下(MEE≒50)し、それに従い寸法変化も 1/2(ASE≒50)まで抑制できた。両者とも、処理条件にかかわらず、処理に伴う重量減少率との間に一定の関係が見られた。このとき、処理条件をさらに厳しくすることで、MEE はさらに高くなると推察されるのに対して、ASEは本研究で設定した条件下でほぼ飽和しているように見えた。

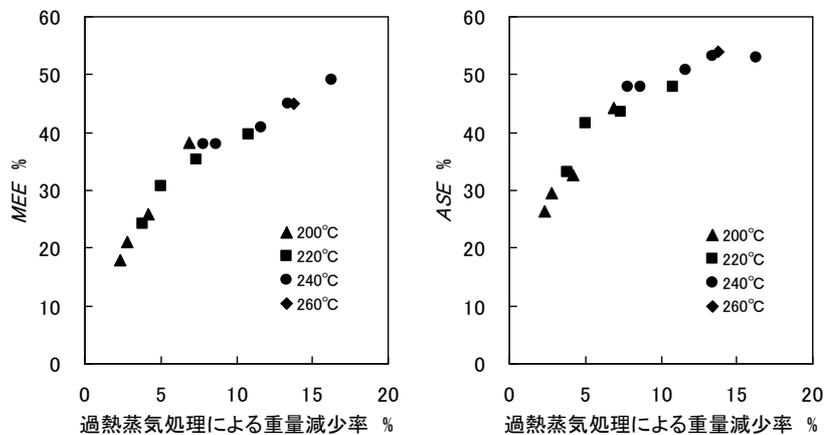


図2 吸湿性ならびに寸法安定性の変化

### 3. 1. 3 生物劣化抵抗性

図3には、過熱蒸気処理した際に生じる重量減少率と、室内腐朽試験での重量減少率との関係を示す。カワラタケではアルダーを除いて樹種間の差を見ることはできなかったが、オオウズラタケでは過熱蒸気処理時の重量減少と

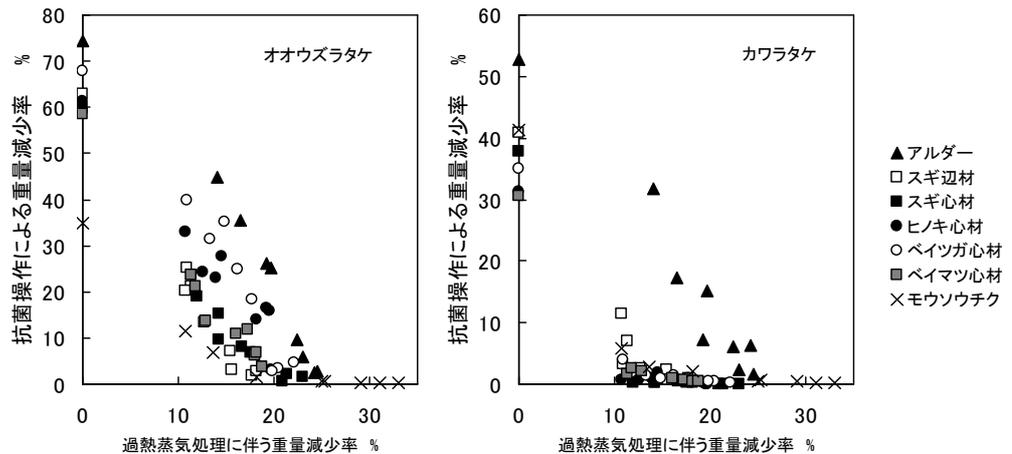


図3 室内腐朽試験結果

耐朽性との関係が、樹種により異なることが明らかになった。過熱蒸気処理に伴う重量減少率との関係において、腐朽(抗菌操作)に伴う重量減少率が最も低くなったのはモウソウチク、次いでスギ辺材と心材、およびベイマツ心材であり、ヒノキやベイツガ心材では腐朽試験での重量減少率が高く、耐朽性が発現しにくい樹種であることが示唆された。また、スギ辺材では過熱蒸気処理において18%程度の重量減少率が得られたときに木材保存剤の性能基準値並の高い抗菌力が発現した。スギを含めて、針葉樹の心材ではそれが20%付近、アルダーでは25%付近であることも分かった。このときの過熱蒸気処理条件は、240℃・8時間、あるいは260℃・2時間であった。

野外杭試験はヤマトシロアリが生息する明日香試験地と、イエシロアリが生息している吹上浜の試験地で実施した。両試験地共に、240℃で8時間処理を行った杭では、2年経過時点で腐朽はほとんど観察されておらず、野外試験でも過熱蒸気処理による耐朽性の発現が確認できた。耐朽性については、図4に示すように、針葉樹では過熱蒸気処理が有効であると判断されたが、アルダーでは効果が認められなかった。

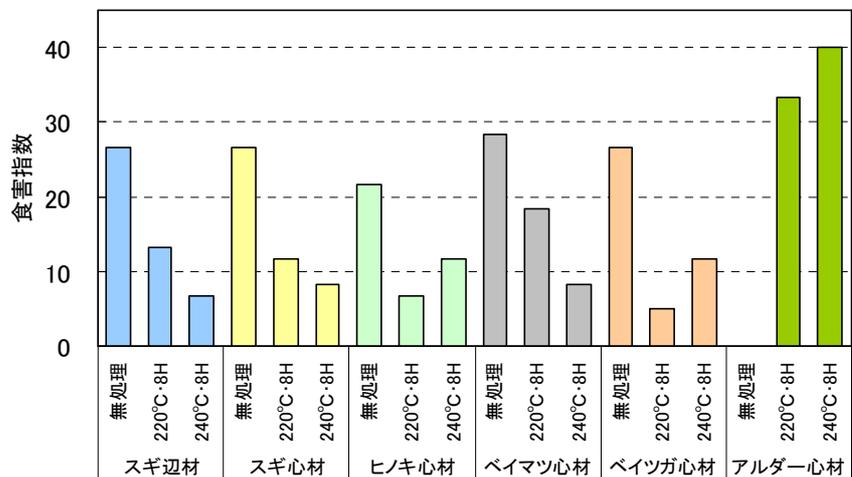


図4 野外耐蟻性試験結果 (2年9か月経過時点)

### 3. 2 試験施工と施工物の評価

#### 3. 2. 1 屋上敷設資材としての性能

図5には典型的な夏季の一日における屋上各部位の温度変化を、図6には同日の階下雑誌室(木チップ敷設あり)とそれに隣接する雑誌閲覧室(敷設なし)の室温の変化を示す。この日、最高外気温は37℃を超え、屋上コンクリート面は56℃まで上昇したのに対して、チップを敷設した直下の屋上コンクリート面は36℃以下にまで温度上昇を抑制できた。チップ敷設をすることで、日変化も非常に小さくな

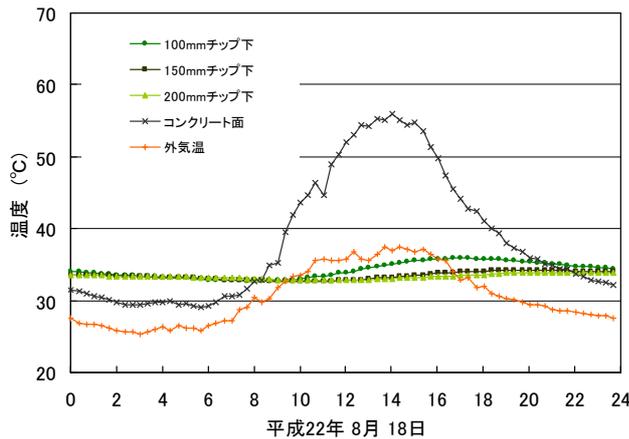


図5 夏季における外気温、屋上温度等の日変化

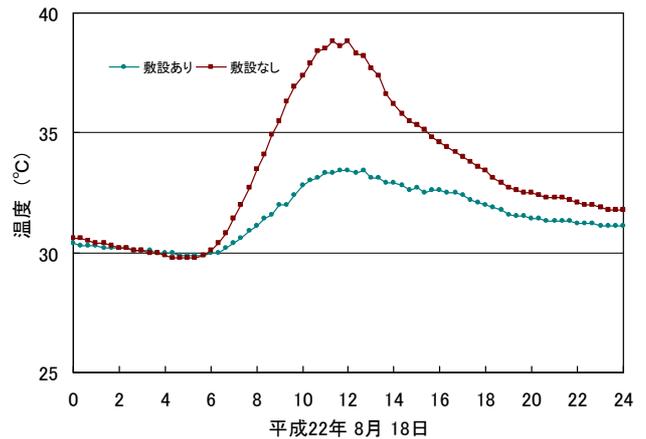


図6 夏季における階下の室温の日変化

り、敷設をしなかったコンクリート面ではそれは27°Cあったが、100mm厚さの敷設でも日変化を約3°Cにまで低減できた。室温の抑制にも顕著な効果が認められ、この日には最大で5°C室温の上昇を抑えることができた。

### 3. 2. 2 木チップ舗装の性能

図7に各種路面で測定した反発係数を示す。木チップ舗装のゴルフボール係数はコンクリート舗装やアスファルト舗装よりも顕著に小さく、衝撃吸収性は高いことおよび、反発弾性を表す鋼球係数はコンクリートより小さくて、アスファルトより大きいことから、適度な反発を有して歩行しやすい路面であると考えられる。過熱蒸気処理の影響については、ソフトボール係数とゴルフボール係数は過熱蒸気処理チップを使った舗装の方が大きく、一方鋼球係数は小さくなった。鋼球係数は他の球体よりも舗装内部の影響を受けやすいと考えられ、得られた結果から考えると、過熱蒸気処理を行った方が、無処理チップよりも表面はやや硬い路面になった一方で、内部に柔らかい層が残っている舗装であり、理想的な路面となったといえる。それは歩行試験においても実証され、過熱蒸気処理チップを骨材に用いた舗装はやや硬いが、歩きやすく、快適であると評価された。

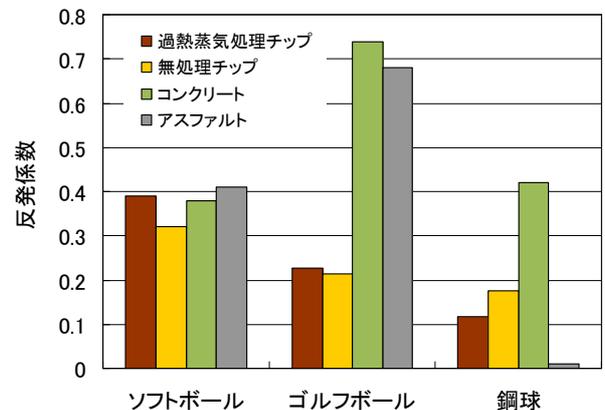


図7 各種路面での反発係数

考えられ、得られた結果から考えると、過熱蒸気処理を行った方が、無処理チップよりも表面はやや硬い路面になった一方で、内部に柔らかい層が残っている舗装であり、理想的な路面となったといえる。それは歩行試験においても実証され、過熱蒸気処理チップを骨材に用いた舗装はやや硬いが、歩きやすく、快適であると評価された。

### 3. 3 連続式過熱蒸気処理装置によるチップの熱処理

投入したチップ全体で見た場合、処理に伴う重量減少率は、第1回目～第3回目の処理でそれぞれ29.5%、30.4%、29.8%(平均29.9%)であり、ロット間でのばらつきは非常に小さいことが分かった。また、うち第3回目の処理では上述したとおり、チップの中にスギ辺材試験体30体をランダムに混ぜたが、この試験体の重量減少率は、28.2～31.4%(平均29.5%)であり、ロット間だけではなく、ロット内でもほぼ均一な処理ができていたことを確認した。

## 4. おわりに

ノンケミカルで耐久性を付与する技術を確立することは、木チップを環境土木資材として利用する際に不可欠であり、過熱蒸気処理は有効な手段と思われた。実用化には超えるべき課題がまだあることも事実であるが、一連の研究においてかなりの進展があったように思う。ここまで研究を進められたのは、日本木材学会江間忠研究助成を初めとする助成があったことで、ここに謝意を表したい。