

樹種・密度が炭化のしやすさへ及ぼす影響に関する実験的検討

試験研究センター 耐火部 今福 康平、小宮 祐人、豊田 康二
京都大学 原田 和典、国立研究開発法人 建築研究所 鈴木 淳一

1. はじめに

木造耐火部材の性能評価試験において、荷重支持部材の炭化の有無は重要な判定基準です。また、樹種の認定範囲について、せっこうボードなどの不燃材料で被覆された「被覆型」では、荷重支持部材に用いられる他の樹種より比較的密度が小さいスギを試験体として合格すれば樹種の制限を受けません。一方、難燃処理木材等の燃えどまり層を有した「燃えどまり型」では、試験体に用いた樹種に限定されています。これは、燃えどまり層も可燃性であるため、炭化のしやすさを慎重に判断する必要があるものの、樹種ごとの炭化のしやすさに関する知見が不足しているためです。加えて、密度と炭化のしやすさを関連付けて検討された例もごく限られます。

そこで、本稿では、樹種や密度が炭化のしやすさについての影響があるかを把握することを目的として加熱実験による検討を行いました。なお、本稿は建築学会大会で発表した内容¹⁾を再編したものです。

2. 実験方法

木材は炭化に伴い、主に熱分解による質量減少と、可燃性成分の燃焼による温度上昇の2つの現象が起こります。ここでは、樹種ごとに異なる熱伝導率の影響を受けにくい表面での温度上昇に着目し、樹種および密度と炭化開始温度の関係を把握することを目的とします。熱分析 (TG-DTA, DSC) では粉砕サンプルを用いますが、本検討では木材の密度を実験変数とするため、単板 (ラミナ) を試験体としました。加熱には電気マッフル炉 (アドバンテック東洋社製 FUW263PB) を使用しました。

試験体の設置状況を図-1に示します。測定項目は炉内温度、試験体表面温度、質量変化としました。温度測定にはシース熱電対φ1.0mmを使用し、試験体表面温度は木表側板目面 (図-1の上面) の中心付近で測定しました。質量変化を測定するため、ロードセルから試験体を吊り下げました。データは5秒間隔で測定しました。

実際の火災の際に木材の小口面が加熱されることは、はりのフィンガージョイントが割れる場合以外では考えにくいいため、小口面はアルミテープで被覆しました。

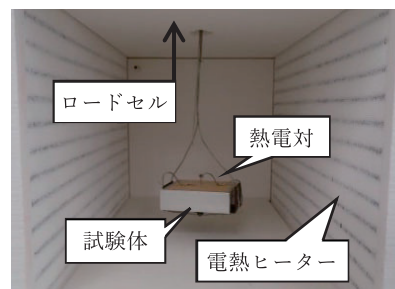


図-1 実験の実施状況

炉内温度の昇温速度は3.0℃/分としました。可燃性成分の燃焼により自己発熱すると、表面温度の上昇速度が炉内温度の上昇速度を上回ると想定されます。本検討においては、表面温度上昇速度が4.0℃/分を超過した時点で試験体が炭化したと判断しました。

3. 試験体

樹種は国内で構造材として使用されるものを選定しました。試験体の樹種および全乾密度を表-1に示します。スギ、カラマツは同樹種での密度比較ができるよう、低・中・高の3水準を選定しました。含水率のばらつきの影響を除外するため、予め105℃で24時間の質量変化が0.1%以下になるまで乾燥させました。試験体数は各条件で3体ずつとしました。試験体は100×100×30mmの辺材の単板とし、スギ、ダフリカカラマツについては芯材でも測定を行いました。

表-1 試験体の樹種および全乾密度

樹種	記号	全乾密度 (g/cm ³)
スギ(辺材)	C	0.25~0.28
		0.34~0.36
		0.43~0.48
スギ(芯材)		0.39~0.46
カラマツ	L	0.37~0.39
		0.48~0.49
		0.52~0.56
ホワイトウッド	W	0.36~0.38
ヒノキ	H	0.36~0.37
スプルース	S	0.36~0.37
ベイマツ	D	0.39~0.40
アカマツ	R	0.40
オウシュウアカマツ	P	0.38~0.40
ラジアタパイン	RP	0.39~0.47
ダフリカカラマツ(辺材)	DL	0.53~0.61
ダフリカカラマツ(芯材)		0.56~0.57

4. 実験結果

炉内温度および表面温度、残量比（質量と初期質量の比）の測定結果の例として、スギの中密度の辺材の内、1体の結果を図-2に示します。加熱開始後90分あたりから、表面温度上昇速度が増大し、96分程で炉内温度を超過しました。図-2の測定結果を、横軸を表面温度、縦軸を表面温度上昇速度および残量比として整理した結果を図-3に示します。表面温度上昇速度は測定時の前後1分間の移動平均としました。

およそ100～200℃の範囲では、炉内温度と同程度の温度上昇速度で推移しており、230℃付近から表面温度上昇速度が増大しました。表面温度が255℃に到達した時点で表面温度上昇速度が4.0℃/分を超過したため、炭化開始温度は255℃としました。一般に木材の炭化温度は260℃と言われていますが、これに近い結果でした。

各試験体の温度測定結果に対し、以上と同様の整理により炭化開始温度を求めました。横軸を全乾密度、縦軸を炭化開始温度として整理した結果を図-4に示します。図-4にスギ、カラマツ、全樹種の回帰直線を、それぞれ $T_{char}(C)$, $T_{char}(L)$, $T_{char}(ALL)$ として示しました。ただし、芯材は回帰分析の対象から除外しました。

密度を実験変数としたスギ、カラマツの結果では、密度が大きいほど炭化開始温度が高くなる傾向が認められましたが、決定係数は小さく、相関性についてはn数を増やすなど検討の余地があると考えられます。

スギとカラマツを比較すると、スギよりもカラマツのほうが全体的に炭化開始温度が高い結果でした。これらのことより、同樹種では密度が大きいほど炭化開始温度が高い傾向がありますが、密度よりも樹種のほうが支配的であると考えられます。他の樹種についても炭化開始温度を比較すると、ベイマツ、カラマツ、ラジアタパイン、ダフリカカラマツが270～290℃と比較的高く、スギが250～270℃と比較的低くなりました。スギ、ダフリカカラマツの芯材は辺材よりも炭化開始温度が20℃程度低くなりました。

5. まとめ

国内で構造材として使用される木材の単板を対象として加熱実験を実施し、樹種および密度と炭化開始温度の比較可能なデータを取得し、以下の知見を得ました。

- ・炭化開始温度は密度よりも樹種の方が支配的であり、スギが最も炭化しやすい傾向が認められました。
- ・同じ樹種で密度を変えて比較したスギ、カラマツでは、密度が大きいほど炭化しにくい傾向が認められました。

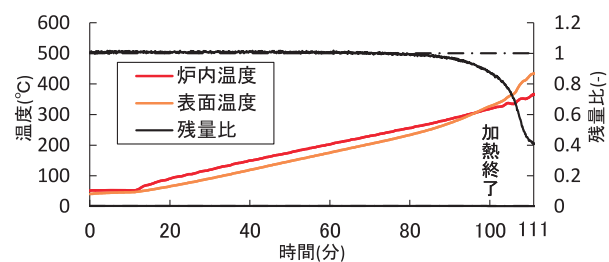


図-2 温度および残量比の時間変化

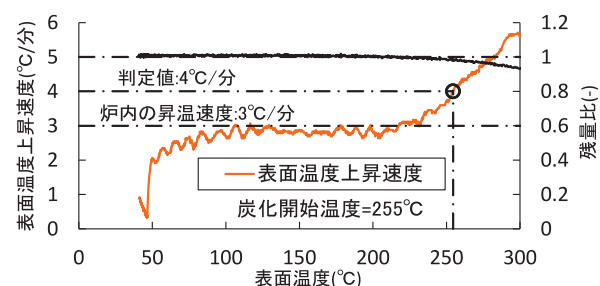


図-3 表面温度と表面温度上昇速度・残量比の関係

注) 図-2,3は例としてスギの中密度のうち1体の結果を示す。

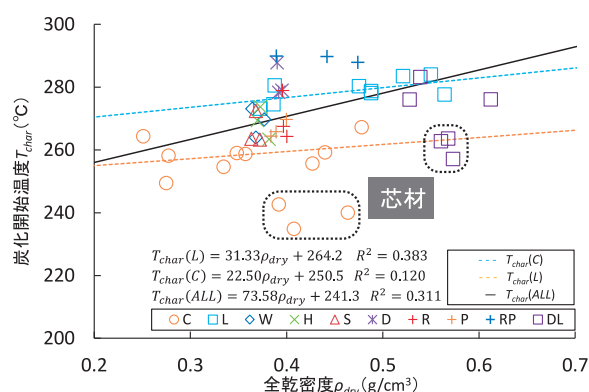


図-4 樹種・密度と炭化開始温度の関係

他の樹種についても、密度が大きいほど炭化しにくい傾向が認められました。ただし、いずれも決定係数が小さく、明確な相関があるとは言い難いため、今後n数を増やして検討する必要があると考えられます。

- ・スギおよびダフリカカラマツでは芯材は辺材よりも炭化開始温度が低い傾向が認められました。

6. おわりに

本研究の結果を一助として（一社）建築性能基準推進協会 防耐火構造・材料部会で検討され、燃え止まり型耐火部材の性能評価において、試験体にスギを用いて合格すれば表-1に示す樹種の使用が認められることとなりました。

【参考文献】

- 1) 今福康平, 小宮祐人, 豊田康二, 原田和典, 鈴木淳一: 樹種・密度が炭化のしやすさへ及ぼす影響に関する実験的検討, 日本建築学会学術講演梗概集 (東海), pp.243 - 244, 2021.9