

乾燥処理温度が丸棒加工丸太の薬剤注入に及ぼす影響

The influence kiln drying temperature gives pressure injection of wood preservative

工藤康夫・町田初男*

要旨

高温乾燥、中温乾燥、低温乾燥、天然乾燥を行った丸棒加工丸太それぞれに、防腐薬剤を加圧注入して薬剤の注入量、浸潤度を比較した結果、以下のことが分かった。

- 1 高温セットを行った丸棒加工丸太は、薬剤注入量が他の乾燥条件に比べて少なかった。
- 2 薬剤注入前の乾燥処理温度が高いほど薬剤注入量が少ない上に浸潤度も低く、高温セットを行った材は浸潤度の基準を下回るものが多くを占めていた。
- 3 各温度スケジュールの丸棒加工丸太を屋外で暴露した結果、浸潤度が基準に満たない材は、土木用材としての耐用年数が大幅に低下する危険性が確認された。

キーワード：スギ、丸棒加工丸太、乾燥、加圧注入

I はじめに

平成22年に施行された公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律において、遮音壁、防護柵等の木製土木構造物の利用促進がうたわれている。しかし、防腐処理技術など品質をはじめとした様々な問題があり、需要の拡大はほとんど進んでいないのが現状である。

品質に影響する問題として、製造時に辺材部の浸潤不良が存在し、防腐薬剤注入不足の事例が見受けられ、耐用年数の低下や製造コストの増加に繋がっている。この現象は、加圧注入前における高温乾燥の影響と考えられていたが、近年、注入量の低下は比較的低い温度域(80℃)で乾燥した場合にも発生することが報告されている(酒井ら, 2011)。

そこで、県内で使用されている代表的な土木用部材について乾燥温度と注入量の関係を調べ、実用上問題のない注入前乾燥温度の範囲を明らかにした上で、品質の安定した土木用木材の供給に繋げる。公園用資材に多く用いられる100mmロータリー加工丸太、及びぐんま型木製ガードレールに使用されているものと同径の160mmロータリー加工丸太について防腐薬剤の薬剤注入試験を行った。さらに注入処理後に屋外放置をしたロータリー加工丸太について干割れ状況を調査した。

II 方法

1 乾燥処理による注入性

試験体は、径100mm、長さ2,000mm、及び径160mm、長さ2,000mmのスギ未乾燥材丸棒加工丸太それぞれ80本を末口側木口の辺材幅が同様の分布になるよう20本ずつ4グループを作成した。重量測定後それぞれのグループを、天然乾燥(以下、AD)、また、蒸気式木材乾燥機(日本電化工機(株)製、DKSH-15HT)を用いて、表-1のとおり低温・乾球温度60℃(以下、KD60)、中温・乾球温度85℃(以下、KD85)、高温・乾球温度120℃(以下、KD120)で人工乾燥した。人工乾燥の各グループは目標含水率を20%以下とし、人工乾燥終了後は室内で静置した。ADは他の人工乾燥のグループと同程

* 群馬県立農林大学校

度の重量となるまで室内に静置した。

5か月経過し、重量がほぼ同等になった時点で、4グループ同時に同一の注薬缶でCuAzの加圧注入を行った。なお、加圧注入は、試験体を0.38%のCuAz液に浸せきさせた状態で0.08MPaの減圧を30分間行い、その後1.5MPaの加圧を7.5時間、さらに0.08MPaの減圧を60分行った。注入終了後、重量測定を行って注入量の把握を行い、試験体の注入前後の質量差を体積で除して注入量を算出した。各試験体は、図-1のとおり末口側木口から300mm、600mm、900mmに鋸断し、図-2のとおり鋸断面に45°ずつ8方向に線を引いて線上の辺材幅を測定した。辺材浸潤度は、クロムアズロールS1.0gと酢酸ナトリウム10gを水1000mlに溶解した呈色液を鋸断面に塗布し、辺材幅を測定した箇所について濃青色に呈色した長さを測定した(図-2)。呈色前の辺材幅に対する呈色した辺材幅の比を浸潤度とした。基準(製材の日本農林規格, 2007)では、K3あるいはK4相当のスギ防腐処理は、辺材の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上と定められているが、当試験においては辺材の浸潤度のみを評価した。

表-1 スギ未乾燥材丸棒加工丸太の乾燥スケジュール

| 径 (mm) | スケジュール | 長さ (mm) | 本数 (本) | 乾燥スケジュール | | | | | | | | | 備考 |
|-----------|--------|------------|------------------|------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|----|
| | | | | 蒸煮 | | セツ | | | 乾燥 | | | | |
| | | | | 温度 (°C) | 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 時間 (h) | | |
| 100 | AD | 2,000 | 20 ^{*1} | - | - | - | - | - | - | 天然乾燥 | | | |
| | KD60 | 2,000 | 20 ^{*1} | 55 | 6 | - | - | - | 60 | 44~55 | 98 | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |
| | KD85 | 2,000 | 20 ^{*1} | 85 | 6 | - | - | - | 85 | 75 | 72 | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |
| | KD120 | 2,000 | 20 ^{*1} | 90 | 6 | 120 | 90 | 6 | セツ後、天然乾燥 | | | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |
| 160 | AD | 2,000 | 20 ^{*2} | - | - | - | - | - | - | 天然乾燥 | | | |
| | KD60 | 2,000 | 20 ^{*2} | 55 | 6 | - | - | - | 60 | 44~55 | 98 | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |
| | KD85 | 2,000 | 20 ^{*2} | 85 | 6 | - | - | - | 85 | 75 | 72 | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |
| | KD120 | 2,000 | 20 ^{*2} | 90 | 6 | 120 | 90 | 6 | セツ後、天然乾燥 | | | 乾燥終了後5~6ヶ月養生 | |

*1、*2 80本のスギ未乾燥丸棒加工丸太を末口側の分布が同じになるよう4グループに分けた

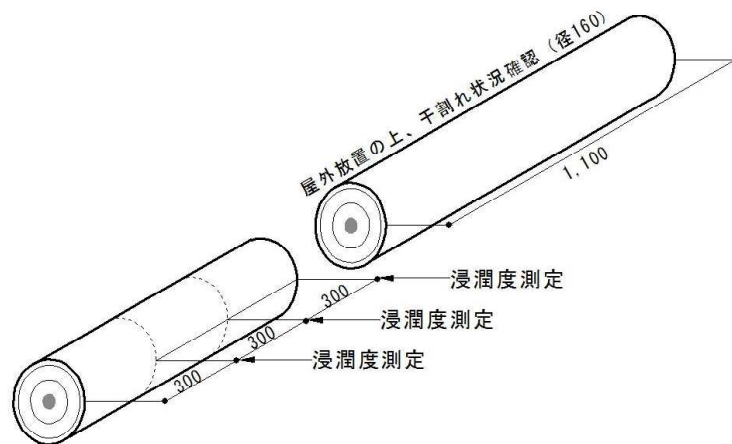


図-1 各試験体の鋸断及び測定の内訳

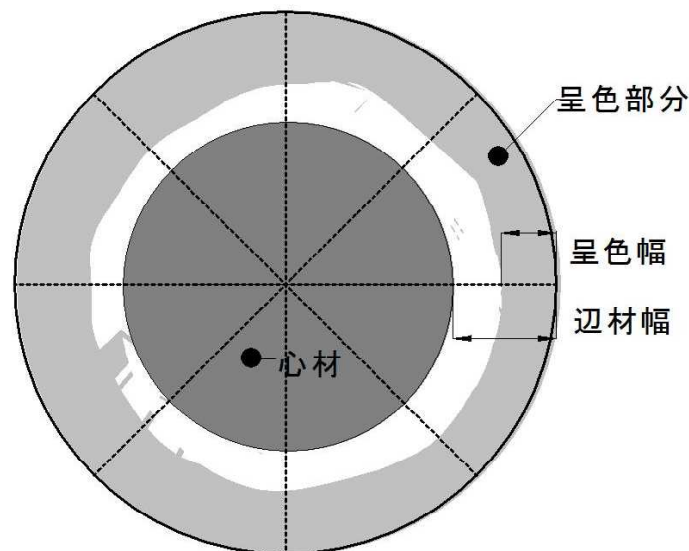


図-2 辺材幅及び呈色幅測定方法

2 注入処理後に屋外放置をしたロータリー加工丸太の干割れ状況

注入処理後の径160mm、長さ2,000mmのスギ丸棒加工丸太の内、鋸断後の残り約1,100mmの材（図-1）を2年間屋外に暴露し、干割れが十分に進行した時点で、干割れが最も発生しやすく、かつ薬材の浸潤が少ない鋸断面に現れた干割れの到達位置を測定した。

III 結果及び考察

1 乾燥処理による注入性

図-3 に径100mm丸棒加工丸太、図-4 に径160mm丸棒加工丸太の乾燥条件別の注入量を示した。ボックス中央のバーが平均値、ボックスは標準偏差、エラーバーは最大と最小を表している。径100mm丸棒加工丸太の平均注入量はADが $353\text{kg}/\text{m}^3$ 、KD60が $365\text{kg}/\text{m}^3$ 、KD85が $300\text{kg}/\text{m}^3$ 、KD120が $252\text{kg}/\text{m}^3$ であった。Steel-Dwassによる多重比較を行った結果、KD120は、KD60に比べて注入量は有意に小さく ($p < 0.05$)、AD及びKD85とは有意差がなかった。また、KD85はAD、KD60と有

意差がなかった。

一方、径160mm丸棒加工丸太の平均注入量は、ADが419kg/m³、KD60が417kg/m³、KD85が402kg/m³に対して、KD120が331kg/m³であった。Steel-Dwassによる多重比較の結果、KD120は、AD、KD60に比べて注入量は有意に小さく ($p < 0.05$)、KD85とは有意差がなかった。また、AD、KD60、KD85間のいずれにも有意差がなかった。

また、今回の試験では薬剤注入前の表面割れ延長を測定していないが、当初は乾燥によって発生した表面割れが注入量に影響を及ぼすことが考えられた。しかし、同一条件で乾燥、加圧注入を行った背割り加工材と無背割り加工材の薬剤注入量を比較した結果、両者に有意な差は認められず、結論として背割り加工が薬剤進入経路の拡大に影響を及ぼしていないことが報告されている(寺西ら, 2014)。この背割り加工を表面割れに置き換えると、表面割れは薬剤注入量にほとんど影響を与えていないと推察される。径100mm、径160mmとも高温乾燥であるKD120は他の乾燥温度に比べて注入量が少ないことから、乾燥処理温度が高いことで薬剤注入量が低下する傾向にあることが確認できた。

さらに、径100mmと径160mmを同一の乾燥条件ごとにそれぞれ比較した結果、径160mmは径100mmに比べて全ての乾燥条件で平均注入量が多くなっているが、径160mmは、薬剤の進入経路となる材縁部の円周長さが径100mmの1.6倍あること、また注入が容易な辺材割合が径100mmに比べて大きくなることから理由であると考えられる。

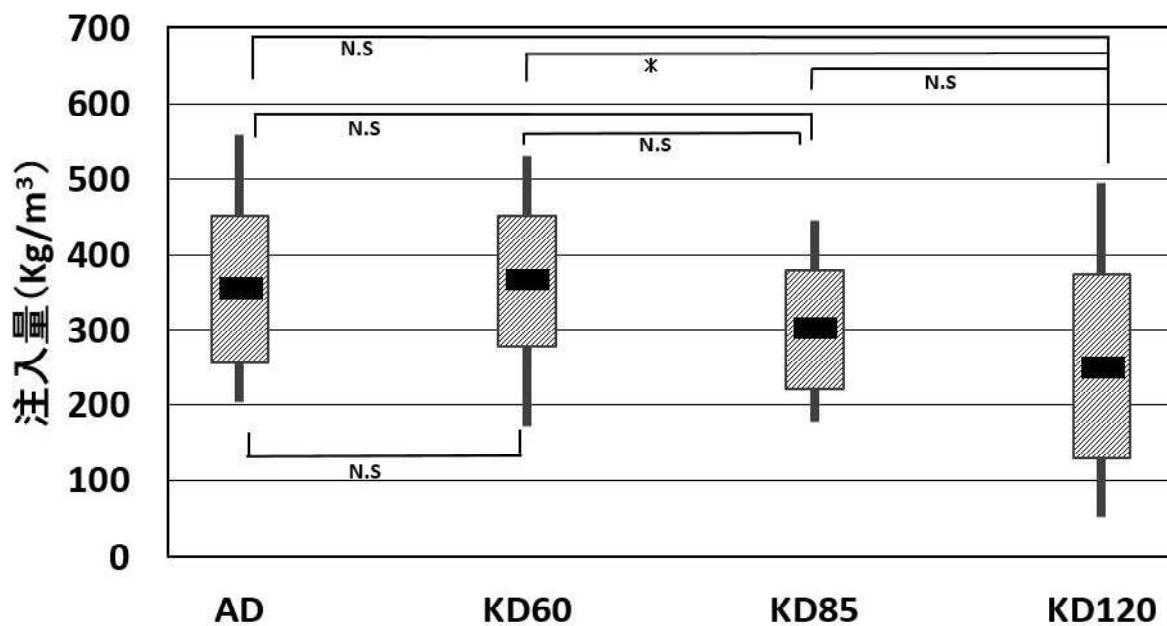


図-3 乾燥条件別の注入量 (径100mm丸棒加工丸太)

** : 有意水準1%で有意

* : 有意水準5%で有意

N.S. : 有意差なし

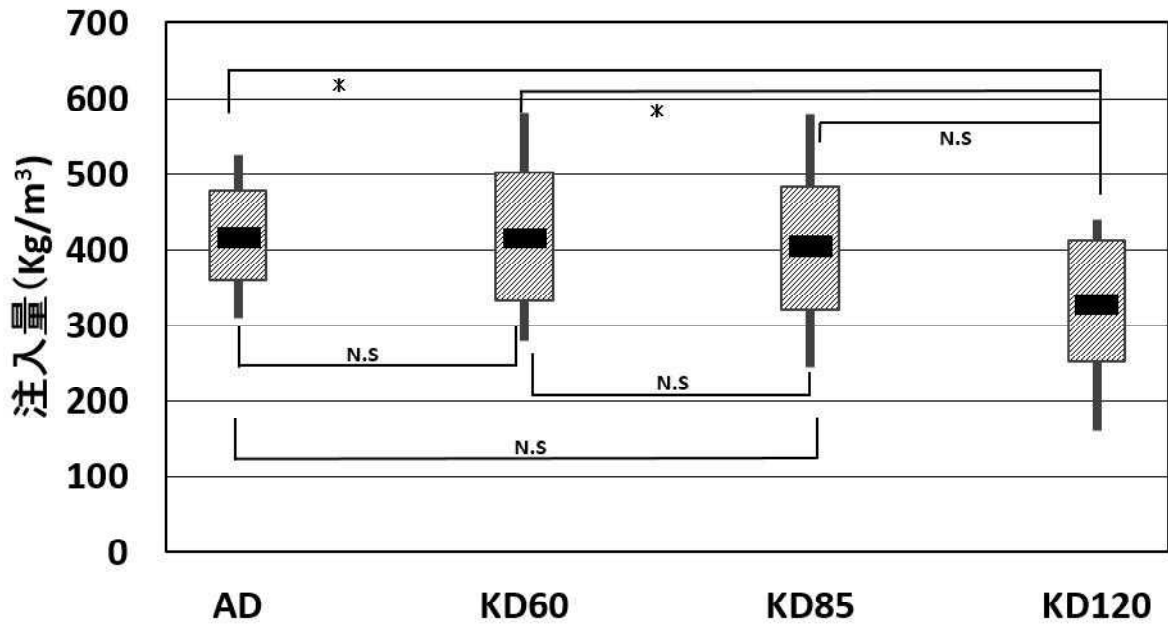


図-4 乾燥条件別の注入量 (径160mm丸棒加工丸太)

** : 有意水準1%で有意

* : 有意水準5%で有意

N.S. : 有意差なし

図-5に径100mm丸棒加工丸太、図-6に径160mm丸棒加工丸太の木口から90cm位置の乾燥条件別の浸潤度を示した。各乾燥条件の黒点は平均値を表す。

径100mm丸棒加工丸太は浸潤度の平均がADで71.7%、KD60で81.7%、KD80で50.6%、KD120で36.5%であった。Steel-Dwassによる多重比較を実施した結果、KD120は、AD、KD60に比べて浸潤度が有意に小さく ($p < 0.01$)、KD85とは有意な差が認められなかった。また、KD85はADと比べて浸潤度の有意差が無く、KD60と比べて有意に小さかった ($p < 0.01$)。一方、径160mm丸棒加工丸太では、浸潤度の平均はADが93.1%、KD60が90.5%、KD80が87.1%、KD120が64.4%で、KD120は、AD、KD60に比べて浸潤度が有意に小さく ($p < 0.01$)。KD85と比べても浸潤度が有意に小さかった ($p < 0.05$)。

さらに、径100mm及び160mmのKD120、及び径100mmのKD85では、浸潤度の基準である80%以上を満たしていなかったものが、それぞれ全体の90%、75%、75%に達していた。

これらの結果から、高温セットであるKD120、中温乾燥であるKD80の一部では、浸潤度も他の乾燥条件に比べていずれも小さく、注入不良が生じる危険が確認された。

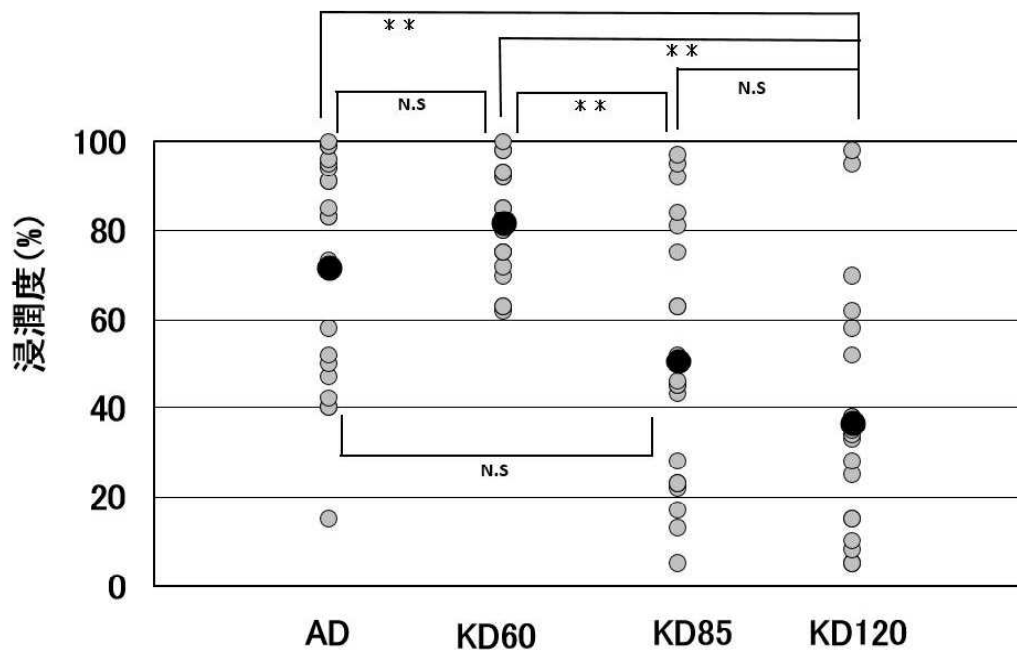


図-5 木口から90cm位置の乾燥条件別の浸潤度 (径100mm丸棒加工丸太)

** : 有意水準1%で有意

* : 有意水準5%で有意

N.S. : 有意差なし

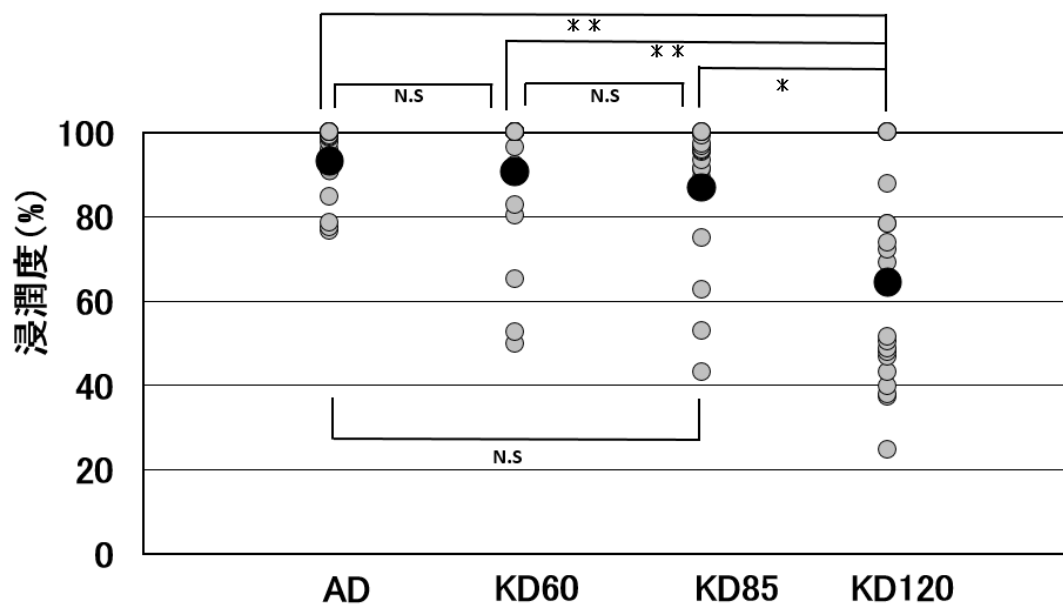


図-6 木口から90cm位置の乾燥条件別の浸潤度 (径160mm丸棒加工丸太)

** : 有意水準1%で有意

* : 有意水準5%で有意

N.S. : 有意差なし

2 注入処理後に屋外放置をしたロータリー加工丸太の干割れ状況

図-7に鋸断した木口に現れた干割れの到達位置別の割合を示した。ADは干割れの先端が浸潤部に留まっている試験体が35%、心材の未浸潤部に到達しているものが55%、辺材の未浸潤部に到達しているものが10%であった。また、KD60、KD85でも、浸潤部に留まったものと心材未浸潤部まで到達していたものが合わせてそれぞれ85%、95%と大部分を占めていた。干割れが浸潤部よりも深部に到達していても、到達した場所が心材であれば心材の耐朽性のある程度は期待できることから、急激な材の劣化は生じにくくなると考えられる。一方KD120では、最も劣化しやすい辺材未浸潤部へ干割れが到達している試験体が全試験体の50%出現していた。KD120は表面が高温セットされたことにより、その後も表面割れの抑制効果が持続していることが期待されたが（工藤ら、2008）、発生した表面割れの状況は他の乾燥条件と大きな違いがなかった。高温セット処理後に、水溶性の薬剤を加圧注入したことによって、セット効果が解消されてしまったことが理由であると推察される。また、図-8に割れ到達位置と浸潤度の関係を各乾燥スケジュール別に示した。辺材未浸潤部へ干割れが到達している試験体は、そのほとんどが浸潤度80%未満であり、特にKD120についてはその傾向が顕著であった。KD120は他の乾燥スケジュールに比べて注入量も少ないことから辺材部の浸潤度も低く、辺材の未浸潤部に割れが到達したものが多くを占めていたと推察される。

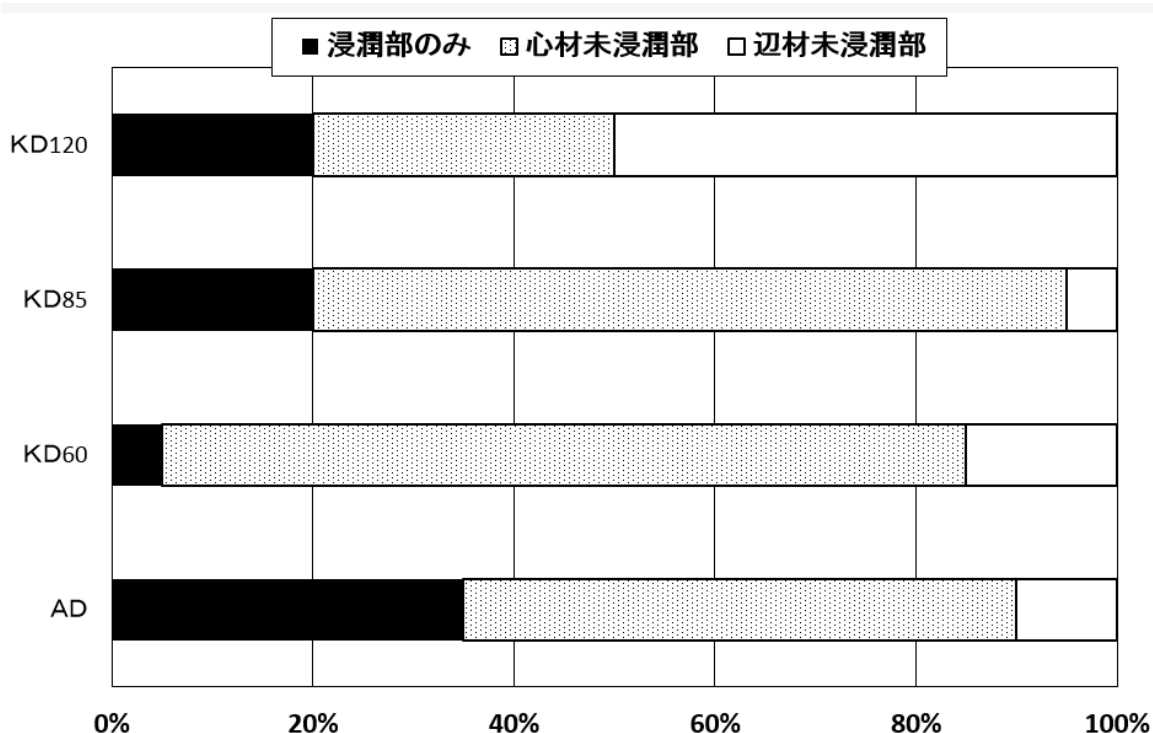
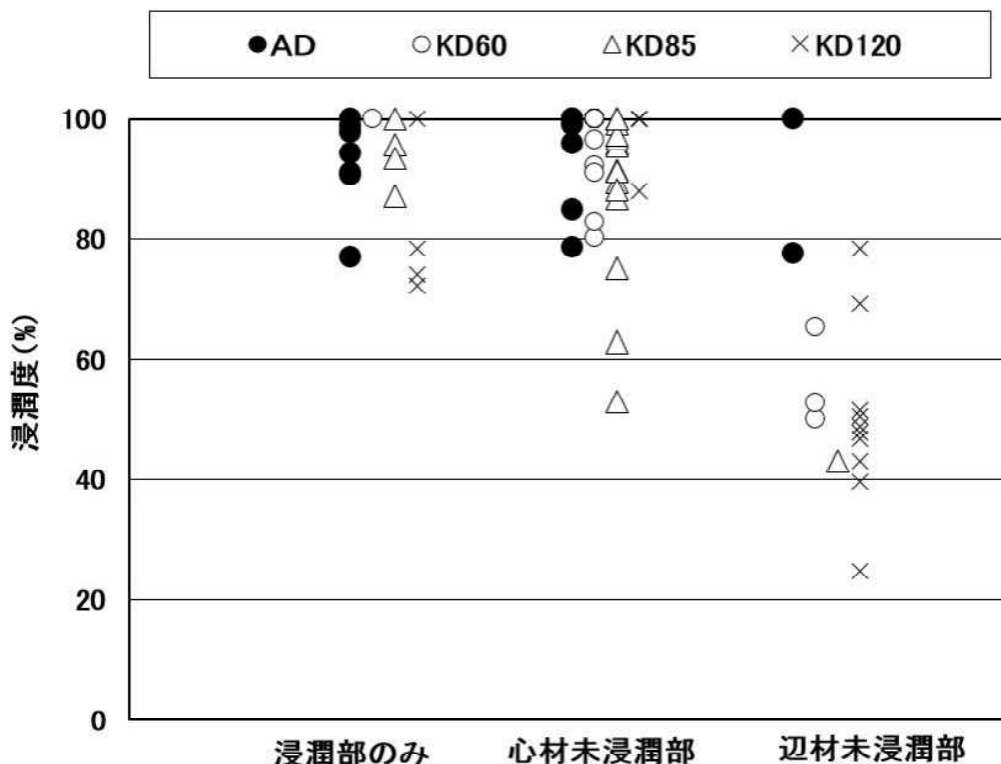


図-7 鋸断した木口に現れた干割れの到達位置別の割合



図－8 割れ到達位置と浸潤度の関係（各乾燥スケジュール）

IV まとめ

本試験の結果から、高温セット処理材は薬剤の加圧注入を行っても、薬剤の注入量が少なく、また浸潤度も製材のJASに定められる基準の80%に満たないものが多いことが分かった。また、85℃で乾燥した中温乾燥処理材の一部にも薬剤注入量が他の乾燥スケジュールに比べて少なく、かつ浸潤度が基準値に満たない注入不良が生じていた。さらに、屋外で2年間暴露した結果、浸潤度が低い材は辺材未浸潤部への割れ到達が非常に多く発生した。

このことから、高い温度で乾燥、特に高温セット処理を行った防腐処理材は、土木用材としての耐用年数の大幅な低下を招く危険があると結論できる。一方、乾燥処理温度60℃は、注入量、浸潤度、また割れ到達位置のいずれにおいても概ね良好な結果であった。木材の乾燥そのものが目的である場合、低温乾燥は乾燥処理にかかる時間が長くなるため生産現場では敬遠される傾向にあるが、薬剤注入処理前の乾燥は、目標含水率を繊維飽和点付近の30%程度とできれば充分であることを改めて考慮し、処理温度だけではなく、コスト削減の見地から処理時間を短縮した低温乾燥スケジュールを採用することが必要である。今回の試験では、表－1のとおり乾球温度60℃で72時間、85℃で96時間の乾燥を行ったが、今後は乾燥にかかる時間を短縮して同様の試験を行い、注入量や浸潤度の検証を行う必要がある。

今後、この研究結果を木材防腐処理の現場に対して普及を図っていきたい。

引用文献

- 1) 工藤康夫・小黒正次・町田初男・後藤義臣, (2008), 乾燥材の生産現場における効率的乾燥の実証 試験, 群馬県林業試験場研究報告第13号, 23-34
- 2) 酒井温子・寺西康浩・海本一・増田勝則・田中陽子・伊藤貴文・桃原郁夫・矢田茂樹・藤本登留・蒔田章・茂山和己・山口秋生・手塚大介, (2011), 大断面スギ心材の乾燥と薬剤注入 (第1報), 注入時の含水率とインサイジングが薬剤浸潤に及ぼす影響, 木材保存, 37(1), 12-19
- 3) 寺西康浩, 酒井温子・海本一・増田勝則・田中陽子・伊藤貴文・桃原郁夫・矢田茂樹・藤本登留・蒔田章・茂山和己・山口秋生・手塚大介, (2014), 大断面スギ心材の乾燥と薬剤注入 (第2報), 高温セット法で乾燥した正角材への薬剤注入と注入後の割れ, 木材学会誌 Vol. 60, NO. 3, 177-185
- 4) 製材の日本農林規格, 農林水産省告示第1083号, 2007