

## 非CCA防腐剤注入木材の耐朽性能評価（第3報）

—屋外曝露18年間の劣化状況—

小倉光貴・松元 浩

## I はじめに

木材の防腐薬剤については、環境や健康に対する配慮から、CCA（銅・クロム・ヒ素系）に替わって1997年以降、第4級アンモニウム系やアゾール系の薬剤がその代替として使用されている。

当試験場では、これら薬剤の実際の防腐効果について知見を得るため、2000年にスギ正角材（75mm角、長さ1,250mm）に4種類の薬剤を加圧含浸した試験体（杭）を植え込み、定期的にその劣化状況を観察してきた。使用した薬剤は、銅・アルキルアンモニウムクロライド（以下「ACQ」と略記）、銅・ホウ素・テブコナゾール（同「CuAZ1」）、銅・シプロコナゾール（同「CuAZ2」）、ナフテン酸亜鉛（同「NZN」）で、これらを加圧注入した試験体各48本に加え、比較のための無処理試験体（以下「対照材」）76本の計268本を石川ウッドセンター（石川県白山市河内町吉岡地内）構内に設置した。

設置3年後から毎年目視による被害度を調査し、4年後、8年後に一部を抜き取って、ピロディン貫入量（以下「Pd値」）、薬剤の浸潤度を測定し、12年後の2012年に残されていた対照材41本と加圧注入試験体48本（薬剤毎12本）、計89本について、上記に加え残存強度の測定（曲げ強度）及び薬剤吸収量を測定した。

今回、残されていた計48本（薬剤毎12本）について、Pd値、薬剤の浸潤度、残存強度の測定を行って、試験を終了としたので、設置12年後及び18年後の結果について報告する。

なお、本報告の一部は、2013年度日本木材学会中部支部大会（富山）において発表した。

## II 試験方法

## 1 被害度

被害度の観察は雨宮らによる森林総合研究所の6段階評価法基準（表-1）に準じ、被害度判定は観察者による偏りを防ぐため、複数人の合議により、地際部と地上部について0.5段階刻みで行った。

Pd値の測定はProceq社製6Jタイプを使用し、抜き取った試験体の地中部の泥を洗い流した後、高周波式木材水分計（Kett社HM520）による地中部の測定値が30%以下になった時点で、4材面のそれぞれ地際部、地上部（地際から50cm）、地中部（地際から30cm）の3カ所について行った。

表-1 目視による被害度調査基準

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度な腐朽または虫害
2	全面的に軽度な腐朽または虫害
3	2に加えて部分的に激しい腐朽又は虫害
4	全面的に激しい腐朽又は虫害
5	腐朽又は虫害により形が崩れる

## 2 残存強度

抜き取った試験体はPd値を測定した後、打撃音の固有振動数をFFTアナライザー（RION社SA77但し、18年後測定時はWaveSpectra）により解析して、動的ヤング係数（以下「Efr」）を求めた。

また、残存強度を測定するため、杭の設置状態を再現して直立状態で地中部50cmを鋼板で固定し、地上部先端から10.5cmの位置に水平方向に9mm/min.で加力して、破壊時荷重を測定した（図-1）。

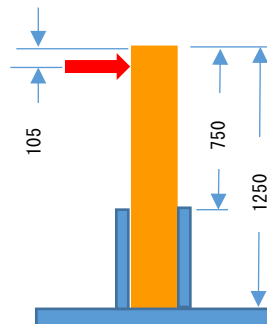


図-1 曲げ強さ試験概念図（単位：mm）

## 3 薬剤浸潤度

残存強度測定後の試験体地上部及び地中部から

サンプルを採取し、製材の JAS 別記 3(2)に基づいて、浸潤度を性能区分 K4 で測定した。

#### 4 薬剤吸収量

12 年経過時の調査においては、試験体の地上部及び地中部からサンプルを採取し、製材の JAS 別記 3(3)蛍光 X 線法（以下「XRF」）により、理学電気工業株製 SMX-12（石川県工業試験場所管）を使用して、性能区分 K4 で薬剤の吸収量を測定した。

### Ⅲ 結果

#### 1 被害度

目視による被害度別試験体数の 2009 年（設置後 9 年）以降の推移を、処理薬剤別にまとめたものが表-2 である。

また、2012 年及び 2018 年における処理区分毎の Pd 値を表-3 に示す。Pd 値の 2012 年と 2018 年データの平均値について、有意水準 5%で検定を行ったところ、NZN 処理試験体の地上部を除いて有意差は認められなかった。

表-2 目視による被害度の推移（2009 年以降）

処理	CuAZ2									
計測年	2009		2010		2011		2012		2017	
残数	24		24		24		24		12	
被害度	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上
0-1	24	24	24	24	24	24	24	24	12	8
1-2										4
2-3										
処理	CuAZ1									
計測年	2009		2010		2011		2012		2017	
残数	24		24		24		24		12	
被害度	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上
0-1	24	24	24	24	24	24	24	24	12	10
1-2										2
2-3										
処理	ACQ									
計測年	2009		2010		2011		2012		2017	
残数	24		24		24		24		12	
被害度	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上
0-1	24	24	24	24	24	24	24	24	12	12
1-2										
2-3										
処理	NZN									
計測年	2009		2010		2011		2012		2017	

残数	24		24		24		24		12	
被害度	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上
0-1	24	24	24	24	23	24	19	24	6	11
1-2					1		4		1	
2-3							1			1
3-4									4	
4 -									1	
処理	対照材									
計測年	2009		2010		2011		2012		2017	
残数	44		44		44		41		0	
被害度	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上	地際	地上
0-1	4	11	3	7		7		6		
1-2	3	24	3	18	5	14	2	7		
2-3	23	9	18	12	19	14	17	14		
3-4	14		17	7	15	6	13	9		
4 -			3		5	3	9	5		

表-3 Pd 値 (mm)

処理	測定位置	2012 年		2018 年	
		本数	測定値	本数	測定値
CuAZ2	地上	12	<u>8.0-24.0</u> 15.3	12	<u>10.0-22.0</u> 15.3
	地際	12	<u>9.0-19.0</u> 14.3	12	<u>11.0-20.0</u> 14.8
	地中	12	<u>8.0-21.0</u> 15.1	12	<u>11.0-22.0</u> 15.6
CuAZ1	地上	12	<u>9.0-22.0</u> 12.6	12	<u>10.0-21.0</u> 12.8
	地際	12	<u>10.0-22.0</u> 12.9	12	<u>11.0-22.0</u> 13.1
	地中	12	<u>10.0-22.0</u> 13.3	12	<u>10.0-21.0</u> 13.8
ACQ	地上	12	<u>12.0-24.0</u> 15.2	12	<u>10.0-21.0</u> 15.4
	地際	12	<u>10.0-26.0</u> 15.2	12	<u>10.0-19.0</u> 14.3
	地中	12	<u>9.0-24.0</u> 15.3	12	<u>10.0-20.0</u> 15.0
NZN	地上	12	<u>10.0-24.0</u> 17.6	11	<u>10.0-21.0</u> 14.9
	地際	12	<u>12.0-26.0</u> 17.6	7*	<u>11.0-26.0</u> 17.7

	地中	12	<u>12.0-26.0</u> 18.5	11	<u>11.0-25.0</u> 16.5
処理	測定位置	2012年		2018年	
		本数	測定値	本数	測定値
対照材	地上	41	<u>8.0-30.0</u> 15.4	0	
	地際	29*	<u>8.0-30.0</u> 17.8	0	
	地中	41	<u>8.0-26.0</u> 16.7	0	

\*:地際部腐朽のため断面欠損したものを除外した集計値  
注) 最小値-最大値  
          平均值

2018年に調査したNZN処理試験体のうち4体は地際部がシロアリにより激しく食害されており、62~79%の断面欠損が認められた(写真-1)。



写真-1 シロアリによる地際部の食害状況

## 2 残存強度

### 1) 動的ヤング係数

縦振動法による処理済み試験体のEfrは、表-4に示すとおりである。Efrの2012年と2018年データの平均値について、有意水準5%で検定を行ったところ、有意差は認められなかった。

表-4 縦振動法によるEfr値(kN/mm<sup>2</sup>)

処理	2012年		2018年	
	本数	測定値	本数	測定値
CuAZ2	12	<u>2.88-6.52</u> 5.29	12	<u>4.46-7.56</u> 5.41
CuAZ1	12	<u>3.61-8.24</u> 5.81	12	<u>3.88-7.76</u> 5.60
ACQ	12	<u>4.51-7.63</u> 5.89	12	<u>3.58-9.56</u> 5.30
NZN	12	<u>4.64-6.02</u> 5.26	7*	<u>3.53-6.18</u> 4.86

\*:地際部腐朽のため断面欠損したものを除外した集計値  
注) 最小値-最大値  
          平均值

### 2) 曲げ強さ

一端を固定した状態での曲げ強さ試験の結果を、表-5に示す。曲げ強さは2018年の結果は2012年に比べて25~50%大きくなっており、いずれの処理材でも5%水準で有意差が認められた。

表-5 曲げ強さ試験結果(N/mm<sup>2</sup>)

処理	2012年		2018年	
	本数	測定値	本数	測定値
CuAZ2	12	<u>10.31-27.64</u> 18.54	12	<u>19.28-44.15</u> 28.67
CuAZ1	12	<u>14.87-30.06</u> 22.45	12	<u>16.25-42.93</u> 28.77
ACQ	12	<u>14.34-25.63</u> 19.25	12	<u>16.96-53.41</u> 28.06
NZN	12	<u>8.34-22.29</u> 14.93	7*	<u>10.53-29.40</u> 18.66

\*:地際部腐朽のため断面欠損したものを除外した集計値  
注) 最小値-最大値  
          平均值

## 3 薬剤浸潤度

薬剤浸潤度試験の結果は表-6のとおりであり、辺材については、2012年、2018年ともほぼ基準値(断面積の80%)を満たしているが、心材への浸潤はサンプルによりばらつきが多く、2018年のNZN処理試験体では過半数のサンプルが基準値未満であった。

表-6 薬剤浸潤度試験の結果(%)

処理	材種	2012年		2018年	
		地上部	地中部	地上部	地中部
CuAZ2	辺材	<u>99-100</u> 99.5	<u>100</u> 100	<u>100</u> 100	<u>100</u> 100
	心材	<u>48-100</u> 85.6	<u>94-100</u> 99.3	<u>80-100</u> 89.4	<u>87-100</u> 96.7
CuAZ1	辺材	<u>99-100</u> 99.7	<u>100</u> 100	<u>100</u> 100	<u>98-100</u> 99.7
	心材	<u>35-100</u> 80.2	<u>51-100</u> 87.8	<u>77-100</u> 91.6	<u>81-100</u> 96.7
ACQ	辺材	<u>100</u> 100	<u>100</u> 100	<u>100</u> 100	<u>96-100</u> 99.1
	心材	<u>0-100</u> 94.8	<u>37-100</u> 96.2	<u>76-100</u> 94.7	<u>99-100</u> 100.0
NZN	辺材	<u>81-100</u> 97.2	<u>52-100</u> 98.1	<u>86-100</u> 93.7	<u>88-100</u> 97.3
	心材	<u>13-100</u> 77.9	<u>4-100</u> 72.2	<u>35-98</u> 81.4	<u>15-100</u> 57.4

注) 心材部は表層から 10mm の範囲を対象.

試験体数は各 12 体

最小値—最大値

平均値

#### 4 薬剤吸収量

XRF による吸収量の測定の結果、JAS の基準値を満たした試験体は、各 12 体中 CuAZ2 : 地上 6、地中 0、CuAZ1 : 地上 8、地中 6、ACQ : 地上 5、地中 0、NZN : 地上 8、地中 5 であり、地上部で 1/2~2/3 の試験体で基準を満たしたが、地中部については半数以下であり、薬剤によっては吸収量=0 の試験体もあるなど、課題の残る結果であった。

### IV 考察

薬剤含浸処理試験体は設置後 10 年頃まではいずれもほぼ劣化が認められなかったが、12 年経過時には NZN 処理材に地際部を中心に劣化が認められた。設置後 17 年の 2017 年調査時には NZN 処理試験体の半数の試験体で地際部にシロアリによる食害を受けて劣化が進行しており、うち 1 体は 2017 年度冬季の雪圧により折損している。それ以外の銅を成分とする薬剤で処理した試験体は、同時点でも干割れからの割裂が見られるものの、生物由来の劣化は認められなかった。

Pd 値の 2012 年と 2018 年データの平均値について、NZN 処理試験体の地上部を除いて有意差は認められなかったことから、生物由来の劣化がなければ、材質的にもこの間の変化は少なかったと考えられる。

Efr についても有意差は認められなかったが、一方で曲げ強さは 2018 年の結果は 2012 年に比べて 25~50%大きくなっており、他のデータと異なる傾向を示した。

薬剤浸潤度については、2018 年に NZN 処理試験体の地中部における心材で基準値を大きく下回ったほかは、ほぼ基準を満たしていた。同処理材については、半数近くの試験体で、地際部がシロアリにより食害されていたことと併せて考えると、2012 年以降、薬剤の効力が低下したと考えられる。

また、2012 年に調査した成分の吸収量は薬剤間、個体間のばらつきが大きく、全般に地中部において評価が低かったことについては、土壌水分による溶脱の可能性も考えられる。

### 謝 辞

薬剤の吸収量分析にあたって、県工業試験場化学食品部の笠森正人氏及び西村芳典氏（いずれも 2012 年度当時）に蛍光 X 線分析についてご教示、ご助力を頂きましたことを感謝いたします。

### 引用・参考文献

- 雨宮昭二 (1963) 浅川実験林苗畑の杭試験 (1). 林試研報 150 : 143-156
- 小倉光貴・木村保典・鈴木修治・松元 浩 (2003) 非 CCA 防腐剤注入木材の耐久性能評価 (第 1 報). 石川県林業試験場研究報告 34 : 31-35
- 小倉光貴・鈴木修治・松元 浩 (2009) 非 CCA 防腐剤注入木材の耐久性能評価 (第 2 報). 石川県林業試験場研究報告 41 : 21-24
- 小倉光貴・鈴木修治・松元 浩 (2013) 非 CCA 薬剤による保存処理木杭の耐久性能の評価 (第 2 報). 2013 年度日本木材学会中部支部大会要旨 : 112-113
- 木材保存学入門改訂 4 版 (2018) : (公社) 日本木材保存協会 (東京) : 42-63, 71-84
- 日本工業規格 (2004) 木材保存剤 (JIS K 1570) : (一財) 日本規格協会 (東京) : 1-5
- 奥野忠一 (1978) 応用統計ハンドブック : 養賢堂 (東京) : 47-54
- 製材の日本農林規格 (2007) : (一社) 日本農林規格協会 (東京) : 3-8, 47-49, 57-65