

## 5 クリーク杭木の耐久性向上に関する研究

(県単：R1（2019）～R10（2028）)

山口 修 小山田 順二

### 1 はじめに

広大な佐賀平野には全長約1,500kmにも及ぶ農業用水路（以下、クリークという。）が存在するが、そのうち約800kmについては土水路となっており風雨等による影響から法面の浸食がみられる。県では、このようなクリークを迅速かつ低コストで改善するため、県内の森林から間伐などにより産出されるスギ材を用いた木柵工による整備を進めており、現在15年が経過している。当初のクリーク整備計画においてはスギ材を用いた木柵工クリークの耐用年数が約10年と設定されていたことなどから、今後、補修や再整備が必要となるものと考えられる。

林業試験場においては、スギ材を用いた木柵工クリークを整備した後、できるだけ長くその機能を維持するため、令和1年度からクリーク杭木の物理的处理や化学的处理を通じた耐久性向上にかかる研究を行っている。

また、令和6年度からは現地（クリーク及び野外）における試験に加え、新たに実験室における人工的な腐朽処理技術を用いた「腐朽菌による耐朽性試験」を行い、防腐処理方法の違いによる耐腐朽性を早期に解明する。

### 2 クリーク及び野外における試験

#### ① 試験の内容

##### 【1. クリークにおける試験】

現在、木柵工クリークにおける杭木において、水面上部に当たる杭頭部（木口面）での腐朽がみられる箇所がある。このため、杭頭部や杭全体に保護キャップなどの物理的处理や防腐などの化学的处理を施すことにより、耐用年数の向上が図れるか検討している。

令和1年度は、杭頭保護キャップ杭、杭頭斜め切り杭、無処理杭を施工した。

令和2年度は、樹脂薬剤注入材、杭頭焼き加工杭、無処理杭を施工した。

令和3年度は、油性木材保護塗料塗布杭、水性防腐・害虫防除剤塗布杭、水性防腐・害虫防除剤＋セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）塗布杭、無処理杭を施工した。

令和4年度は、油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布杭、水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布杭、水性防腐・防虫・防カビ薬剤＋10％CNF塗布杭、水性防腐・防虫・防カビ薬剤＋1.7％CNF塗布杭、水性防腐・害虫防除剤塗布杭、水性防腐・害虫防除剤＋10％CNF塗布杭、無処理杭を施工した。

令和5年度は、水性木材保護塗料塗布杭、水性木材保護塗料＋10％CNF（木抽出）塗布杭、水性木材保護塗料＋1.7％CNF塗布杭、防腐・防虫・防カビ薬剤塗布杭、無処理杭を施工した。

具体的には、令和5年度においては、木柵工クリークが施工されている1路線に、環境配慮型塗料やCNFを使用した防腐処理を施した杭木（表－1）の試験施工を行い、経過を観察することとした。

杭木には、県産スギ材で作製した長さ2.5m、杭頭径12cmのものを用いており、杭頭から約80cmまで防腐処理を行い、水性木材保護塗料塗布杭、水性木材保護塗料＋10％CNF塗布杭、水性木材保護塗料＋1.7％CNF塗布杭、水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布杭を各2本作製し、無処理杭（対照）2本と併せて計10本を設置した。

表－1 クリーク杭木の防腐処理方法

| 杭番号  | 防腐処理方法              | 摘要                             |
|------|---------------------|--------------------------------|
| 1,2  | 水性木材保護塗料塗布          |                                |
| 3,4  | 水性木材保護塗料+CNF(木抽出)塗布 | 10%CNFを重量比1：9で水性木材保護塗料に混ぜ合わせる  |
| 5,6  | 水性木材保護塗料+CNF(竹抽出)塗布 | 1.7%CNFを重量比1：9で水性木材保護塗料に混ぜ合わせる |
| 7,8  | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布     |                                |
| 9,10 | 無処理                 |                                |

なお、令和7年3月、現地においてファコップにより腐朽状況を調査した。



写真－1 令和1年度施工地(佐賀市巨勢町修理田)



写真－2 令和2年度施工地(佐賀市北川副町江上)



写真－3 令和3年度施工地(佐賀市巨勢町修理田)

## 【2. 野外における試験】

同一環境において、防腐処理方法による杭木の経年腐朽状況の違いを調査するため、7種類の防腐処理（直径10cm、長さ1mの丸棒加工杭の全面に木材防腐剤を塗布）と無処理の杭木を、林業試験場内の野外に30cm程度打ち込んでいる。（表－2）（写真－4）

各試験杭において、ピロディン（地際付近）及びファコップ（杭頭付近）による丸棒加工杭の腐朽状況を調査した。



写真－4 野外暴露試験杭の設置状況

表－2 丸棒加工杭の防腐処理方法

| 杭番号   | 防腐処理                     | 摘要                                        |
|-------|--------------------------|-------------------------------------------|
| 1～5   | 油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布          |                                           |
| 6～10  | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布          |                                           |
| 11～15 | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(木抽出)塗布 | 10%CNFを重量比1:9で水性防腐・防虫・防カビ薬剤に混ぜ合わせる        |
| 16～20 | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(木抽出)塗布 | 水とCNFを1:1で希釈した溶液を水性防腐・防虫・防カビ薬剤に1:9で混ぜ合わせる |
| 21～25 | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(竹抽出)塗布 | 1.7%のCNFを1:9で水性防腐・防虫・防カビ薬剤に混ぜ合わせる         |
| 26～30 | 水性防腐・害虫防除剤塗布             | 水で3倍希釈                                    |
| 30～35 | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出)塗布    | 水とCNFを9:1に希釈したものを水性防腐・害虫防除剤に2:1で混ぜ合わせる    |
| 36～40 | 無処理                      |                                           |

## ② 試験の結果

## 【1. クリークにおける試験】

令和1年度から令和5年度にかけて設置した試験杭について、令和7年3月に目視による腐朽状況の確認とファコップによる応力波伝播速度の測定を行った。目視による腐朽状況の確認では、いずれの杭にも特に目立った腐朽は見られなかったが、令和2年度に設置した杭頭焼き加工杭は、表面の炭化層が風雨等で洗い流され、無処理杭に近い状態となっていた。また、ファコップによる応力波伝播速度の測定を表－3に示す。いずれの試験杭も健全な状態を保っており、腐朽は認められなかった。

表－3 クリーク杭木の防腐処理別応力波伝播速度の調査結果

| 設置<br>年度 | 防腐処理方法                     | 調査本数 | 調査年月日   | 応力波伝播速度<br>(m/s) |
|----------|----------------------------|------|---------|------------------|
| R1       | 杭頭保護キャップ                   | 4    | R7.3.11 | 974              |
|          | 杭頭斜め切り                     | 4    | R7.3.11 | 1,094            |
|          | 無処理                        | 2    | R7.3.11 | 1,180            |
| R2       | 樹脂薬剤注入材                    | 5    | R7.3.11 | 959              |
|          | 杭頭焼き加工                     | 2    | R7.3.11 | 793              |
|          | 無処理                        | 3    | R7.3.11 | 1,122            |
| R3       | 油性木材保護塗料塗布                 | 2    | R7.3.11 | 1,094            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤塗布               | 2    | R7.3.11 | 1,167            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出10倍希釈)塗布 | 2    | R7.3.11 | 1,161            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(竹抽出)        | 2    | R7.3.11 | 992              |
|          | 無処理                        | 2    | R7.3.11 | 1,139            |
| R4       | 油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布            | 2    | R7.3.11 | 1,326            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布            | 2    | R7.3.11 | 1,147            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(木抽出)塗布   | 2    | R7.3.11 | 1,215            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(竹抽出)塗布   | 2    | R7.3.11 | 1,346            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤塗布               | 2    | R7.3.11 | 1,131            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出)塗布      | 2    | R7.3.11 | 1,115            |
| R5       | 無処理                        | 2    | R7.3.11 | 996              |
|          | 水性木材保護塗料塗布                 | 2    | R7.3.11 | 1,303            |
|          | 水性木材保護塗料+CNF(木抽出)塗布        | 2    | R7.3.11 | 1,224            |
|          | 水性木材保護塗料+CNF(竹抽出)塗布        | 2    | R7.3.11 | 1,220            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布            | 2    | R7.3.11 | 1,216            |
|          | 無処理                        | 2    | R7.3.11 | 1,110            |

## 【2. 野外における試験】

丸棒加工杭の防腐処理方法による野外暴露試験のファコップによる応力波伝播速度調査結果を表－4に示す。いずれの試験杭も健全な状態を保っており、腐朽は認められなかった。

表－4 丸棒加工杭の防腐処理別応力波伝播速度の調査結果

| 設置<br>年度 | 防腐処理方法                   | 調査本数 | 調査年月日     | 応力波伝播速度<br>(m/s) |
|----------|--------------------------|------|-----------|------------------|
| R3       | 油性木材保護塗料塗布               | 5    | R6. 10. 8 | 1,643            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤塗布             | 5    | R6. 10. 8 | 1,402            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出)塗布    | 5    | R6. 10. 8 | 1,567            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出)塗布    | 5    | R6. 10. 8 | 1,051            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(竹抽出)塗布    | 5    | R6. 10. 8 | 1,314            |
|          | 無処理                      | 5    | R6. 10. 8 | 1,429            |
| R4       | 油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布          | 5    | R6. 10. 8 | 1,554            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布          | 5    | R6. 10. 8 | 1,600            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(木抽出)塗布 | 5    | R6. 10. 8 | 1,632            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(木抽出)塗布 | 5    | R6. 10. 8 | 1,574            |
|          | 水性防腐・防虫・防カビ薬剤+CNF(竹抽出)塗布 | 5    | R6. 10. 8 | 1,497            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤塗布             | 5    | R6. 10. 8 | 1,506            |
|          | 水性防腐・害虫防除剤+CNF(木抽出)塗布    | 5    | R6. 10. 8 | 1,535            |
|          | 無処理                      | 5    | R6. 10. 8 | 1,555            |

### ③ 今後の計画

現地の試験杭の耐久性について、目視及びファコップ測定により腐朽状況等を継続して調査するとともに、場内の野外暴露試験杭についてもピロディン及びファコップ測定により腐朽状況等を継続して調査する。

## 3 腐朽菌による耐朽性試験

### ① 試験の内容

#### 【1. 概要】

クリークや野外において試験した防腐処理材に加えて、薬剤加圧注入木材、アセチル化木材、無処理木材、あわせて12種の木材に対して室内耐朽性試験を行い、耐朽性を比較した。

アセチル化木材とは、無水酢酸を用い、セルロースやヘミセルロース、リグニンなどの木材成分中に多数存在する親水性の水酸基(OH)を、疎水性のアセチル基(CH<sub>3</sub>COO)に置換した木材である。耐朽性や寸法安定性に優れた環境に対する影響が少ない改質法として使用事例が年々増加している。

耐朽性試験の木材腐朽菌は、自然界でスギなどの木材を腐朽させる褐色腐朽菌のオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris*)および白色腐朽菌のカワラタケ(*Trametes versicolor*)を用いた。

#### 【2. 試験体】

試験体として次の合計12種を採用した。

- (1)油性木材保護塗料塗布材
- (2)水性木材保護塗料塗布材
- (3)水性防腐・害虫防除剤塗布材
- (4)                 "                 +CNF(木抽出10倍希釈)塗布材
- (5)                 "                 +CNF(竹抽出1.7%)塗布材
- (6)油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材
- (7)水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材
- (8)                 "                 +CNF(木抽出10倍希釈)塗布材



写真－5 薬剤(7)～(9)



(9)                   〃                   +CNF（竹抽出 1.7%）塗布材

(10)薬剤加圧注入木材

(11)アセチル化木材

(12)無処理木材

なお、9種の塗布材は塗布後7日間定着させたものを使用した。また、薬剤加圧注入木材はSAGAサンライズパーク（R5施工）のウッドデッキ用木材、アセチル化木材はラジアタパインをもとに製造されたアコヤ（商品名）を使用した。

### 【3. 方法】

薬剤の塗布（表面処理）や加圧注入（注入処理）、および無処理の木材を同じ条件下で耐久性を調べるため、日本産業規格 JIS Z 2101 及び K 1571 に準拠し、12種の試験体を使って試験を実施した。

すなわち、円筒形広口容器を1菌株あたり12本用い、これに海砂、培養液を入れ、殺菌操作後に接種用木片（供試菌を繁殖させたクヌギ木片）を入れ、温度26℃、相対湿度75%の恒温恒湿室にて培養した。菌糸が培養基中に十分繁茂したときに、耐候操作（十分に蒸留水で溶脱し、乾燥機で揮発）した試験体を1容器に3個ずつ設置した。温度26℃、相対湿度75%の恒温恒湿室にて培養し、12週間（84日間）経過したのち、広口容器から試験体を取り出した。この腐朽操作による材質の変化や劣化状況を観察するとともに、次式により質量減少率を算出し、耐朽性の指標とする。

質量減少率（%）＝（腐朽前の60℃恒量－腐朽後の60℃恒量）／腐朽前の60℃恒量×100

耐朽比＝（100－試験体の質量減少率）／（100－無処理木材の質量減少率）

なお、試験体の大きさは20×20×20mmとし、オオウズラタケ（褐色腐朽菌）とカワラタケ（白色腐朽菌）による84日間の腐朽操作を行った。この前後に測定した恒量（60℃で約48時間）から質量減少率を算定した。平均質量減少率は、小数点以下第2位を四捨五入して示した。



写真-6 恒温恒湿室での腐朽操作

左：オオウズラタケ（褐色腐朽菌）

右：カワラタケ（白色腐朽菌）

### ② 試験の結果

腐朽操作による質量減少率を表-5、無処理木材との耐朽比を表-6に示す。

アセチル化木材をはじめ全ての試験体の腐朽操作終了時点で、オオウズラタケの菌糸が表面に付着する程度であった。また、カワラタケの菌糸は、無処理木材を除いて試験体表面への被覆はあまり見られず、形状の変化もない。なお、無処理木材については試験体の全面に被覆はあったものの、質量減少は見られなかった。

つまり、試験成立条件（無処理木材の質量減少率がオオウズラタケは30%以上、カワラタケは15%以上）に到達しなかった。

表－5 腐朽操作による質量減少率の調査結果

| 試験体                                 | 質量減少率 (%) |       |
|-------------------------------------|-----------|-------|
|                                     | オオウズラタケ   | カワラタケ |
| (1)油性木材保護塗料塗布材                      | -1.21     | -1.22 |
| (2)水性木材保護塗料塗布材                      | -0.82     | -0.35 |
| (3)水性防腐・害虫防除剤塗布材                    | -1.72     | -6.36 |
| (4)       "       +CNF（木抽出10倍希釈）塗布材 | -0.87     | -5.26 |
| (5)       "       +CNF（竹抽出1.7%）塗布材  | -1.26     | -4.96 |
| (6)油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材                 | 0.39      | 0.39  |
| (7)水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材                 | -2.15     | -2.62 |
| (8)       "       +CNF（木抽出10倍希釈）塗布材 | -1.74     | -2.46 |
| (9)       "       +CNF（竹抽出1.7%）塗布材  | -1.72     | -3.03 |
| (10)薬剤加圧注入木材                        | -1.65     | -6.12 |
| (11)アセチル化木材                         | -3.31     | -2.44 |
| (12)無処理木材                           | -4.29     | -5.43 |

※質量減少率 (%) = (腐朽前の 60℃恒量－腐朽後の 60℃恒量) / 腐朽前の 60℃恒量 × 100

表－6 無処理木材との耐朽比

| 試験体                                 | 耐朽比     |       |
|-------------------------------------|---------|-------|
|                                     | オオウズラタケ | カワラタケ |
| (1) 油性木材保護塗料塗布材                     | 0.97    | 0.96  |
| (2) 水性木材保護塗料塗布材                     | 0.97    | 0.95  |
| (3) 水性防腐・害虫防除剤塗布材                   | 0.97    | 1.01  |
| (4)       "       +CNF（木抽出10倍希釈）塗布材 | 0.97    | 1.00  |
| (5)       "       +CNF（竹抽出1.7%）塗布材  | 0.97    | 1.00  |
| (6) 油性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材                | 0.96    | 0.94  |
| (7) 水性防腐・防虫・防カビ薬剤塗布材                | 0.98    | 0.97  |
| (8)       "       +CNF（木抽出10倍希釈）塗布材 | 0.98    | 0.97  |
| (9)       "       +CNF（竹抽出1.7%）塗布材  | 0.98    | 0.97  |
| (10) 薬剤加圧注入木材                       | 0.97    | 1.00  |
| (11) アセチル化木材                        | 0.99    | 0.97  |
| (12)無処理木材                           | 1.0     | 1.0   |

※耐朽比 = (100－試験体の質量減少率) / (100－無処理木材の質量減少率)

### ③ まとめ

JIS Z 2101 及び K 1571 に準拠した室内耐朽性試験として、オオウズラタケとカワラタケを使った腐朽操作を行ったが、試験成立条件に到達しなかったため、今後、腐朽を促進させるための容器の通気性等を検討するとともに、県産スギを使ったアセチル化木材を製造し、耐久性について評価していく必要がある。