

伐採工事により発生するヤナギ等根株の 試験焼却について

齋藤 弘典¹

¹中部地方整備局 木曽川上流河川事務所 管理課 （〒500-8801 岐阜県岐阜市忠節町5丁目1番地）。

河川の管理、整備のために実施している河川内樹木の伐採で発生する樹木の根株について、その処分費が枝葉・幹に比べて高額になり、維持管理費を圧迫している現状がある。そこで根株の処理を効率よく、安価に処分する方法として、従来より刈草の焼却処分に使用されてきたNETIS登録の新技术である「酸素供給型高速焼却装置・モヤッシー」を使用して根株の焼却処理の試行を実施した。その結果をまとめたので報告する。

キーワード 維持管理，樹木伐採，根株，コスト削減，効率化

1. 緒言

(1)実験の目的

河道内樹木伐採で発生する枝葉・幹・根株は、処理業者へ処理委託するのが一般的ではあるが、特に根株の処分単価は高く、根株に付着した土砂を取り除く手間分などがコスト上昇の原因となっている。本試行では、ヤナギ等の根株を高温で焼却し、多少の土砂が付着していても焼却によって発生する灰とともに土に戻すという処理方法を今回試行する。これにより、河道内樹林化の主要因となっているヤナギ等の根株を木曽川上流河川事務所管轄内（河川内）で地産地消的に処理することで処理単価を下げるできないかを確認する。

本試行において検討すべき技術的課題としては、含水率が高いヤナギ等の根株を苦情の原因となる煙を抑えて焼却することができるか、そのために必要な準備作業・手順、根株焼却にかかるコストが従来の処分費に対して優位性はあるか、といった点である。

(2)根株の処分コスト

a)年間処分量、処分費

木曽川上流河川事務所管理課の発注工事で2021～2024年に実施した樹木伐採工事で発生した根株の処分量及び処分費を表-1にまとめた。

年度により工事の発注本数が異なるため処分費も年度により異なるが、根株の処分に毎年度、直接工事費で1千万円以上、2023年に至っては5千万円以上の費用を要している。（金額は税抜き価格）

b)枝葉・幹、根株の処分単価

枝葉・幹と根株の処分単価の差について、一例ではあるが、昨年度、岐阜県内のある処分場では枝葉・幹の処分費が1 t 当り4,876円、それに対して、根株は1 t 当り9,637円と約2倍の差がある。（金額は税抜き価格）

（表-2参照）

表-1 2021～2024年度 根株処分量、運搬処分費集計表

工事名	処分量 t	年度別合計 処分量 t	運搬処分費 円（税抜）	年度別合計 運搬処分費 円（税抜）
令和3年度 長良川樹木伐開工事	533	2021年度 1,551	8,487,357	2021年度合計 25,908,322
令和3年度 木曽川樹木伐開工事	287		5,190,460	
令和3年度 揖斐川樹木伐開工事	731		12,230,505	
令和4年度 長良川中流部樹木伐開工事	488	2022年度 1,044	5,969,159	2022年度合計 14,130,771
令和4年度 木曽川中流部整備工事	174		2,524,704	
令和4年度 揖斐川中流部樹木伐開工事	382		5,636,908	
令和4年度 揖斐川中流部整備工事	0		0	
令和4年度 木曽川上流部管内河道整備工事	703	2023年度 3,811	11,055,897	2023年度合計 52,640,976
令和4年度 長良川管内河道整備工事	93		1,315,974	
令和4年度 揖斐川上流部河道整備工事	777		10,997,165	
令和5年度 長良川中流部整備工事	6		114,782	
令和5年度 木曽川中流部河道整備工事	669		10,011,731	
令和5年度 長良川中流部河道整備工事	477	2024年度 1,544	5,486,384	2024年度合計 23,143,994
令和5年度 揖斐川中流部河道整備工事	1,086		13,659,043	
令和5年度 木曽川上流部樹木伐採工事	651		10,518,462	
令和5年度 木曽川中流部樹木伐採工事	52		904,099	
令和5年度 長良川中流部樹木伐採工事	280	2025年度 1,544	3,574,599	2025年度合計 23,143,994
令和5年度 揖斐川中流部樹木伐採工事	561		8,146,834	
合計	7,950		115,824,063	115,824,063

表-2 枝葉・幹、根株 運搬処分単価

工程	細別	規格	単価	数量	単価	金額
伐木除根工 岐阜工区①(伐木)	伐木伐竹運搬	運搬(根株)	m2	2,300	53.60	123,280
伐木除根工 岐阜工区①(伐木)	処分費	根株	t	54	9,637	520,398
伐木除根工 岐阜工区①(伐木)	伐木伐竹運搬	枝葉・幹	m2	3,700	30.13	111,481
伐木除根工 岐阜工区①(伐木)	処分費	処分(枝葉)	t	274	4,876	1,336,024

2. 実験方法

(1)実験に使用する装置、重機

a)酸素供給型高速焼却装置・モヤッシー

木曽川上流河川事務所管内の複数の堤防維持管理工事で、刈草の焼却処理作業に使用されている「酸素供給型高速焼却装置・モヤッシー」を今回実験で使用。刈草を800～1000℃以上で完全燃焼させて煙の発生を大きく軽減し、焼却速度も通常の焼却方法に比べて2倍以上になる。またこの装置はNETIS登録がされている新技術である。（NETIS登録No. CB-220020-A）

「モヤッシー」を使用する事で、根株に付着している土砂を綺麗に取り除かなくても高温で焼却し、土砂は灰と一緒に焼却用架台下の焼却灰の受け皿に落下するため土砂の除去作業が簡素化できると考えた。



写真-1 酸素供給型高速焼却装置・モヤッシー

b)バックホウ 0.45m³（小割専用アタッチメント付き）

後述の検証条件の根株の小割りには、小割り専用アタッチメントを装着したバックホウ0.45m³を使用した。（写真-2）

また根株を焼却装置へ投入する際には同型のはさみバケット装着を使用した。



写真-2 バックホウ0.45m³（小割専用アタッチメント付き）

(2) 検証条件

ヤナギ類は植物体に含まれる含水率が高いことが知ら

れており、根株は更に含水率が高いことから、根株丸ごとの状態での焼却が難しい可能性が有識者から指摘されたため、根株の小割作業の有無、乾燥のための野外放置期間の異なる複数の実証実験ケースを設定した。

下記に今回実験で使用した試料である根株の種類（根株の状態及び、野外放置させ乾燥させた期間）を示す。

a)根株の状態

根株の状態は次の3種類（写真-3参照）

①根株（泥付き）、②根株（泥なし）、③小割（泥は小割中に落ちた状態）

b)除根後の乾燥期間

根株除根後の乾燥期間は次の4種類

A：5日後、B：2週間後、C：3か月後、
D：5か月後 以下、合計12通りとなる。

A-①、A-②、A-③、B-①、B-②、B-③

C-①、C-②、C-③、D-①、D-②、D-③

c)根株の仕分け、保管方法

根株を12通りに分けてハンガーパレットに入れ、次項にあげる検証項目をそれぞれのハンガーパレット毎で実施してデータを採取する。

また乾燥期間中の根株の保管方法は、ハンガーパレットにシート等は掛けずに屋外に置くこととした。（今回は近隣の防災ステーション予定地の敷地内に仮置きをした）（写真-4）



写真-3 根株（左より 泥付き、泥なし、小割）



写真-4 根株仕分け、保管状況

(3) 検証項目、計測方法

a)重量（容器含む）

根株焼却前に、重量計にて根株の重量を計測する。（パレットに入れた状態で重量計測を行う。）

b)含水率

除根直後及び乾燥期間後（焼却前）の2回、根株の表面及び内部の平均含水率（3点平均）を木材水分計により計測する。また焼却後、燃え残った根株がある場合は、焼却装置より取り出し一部輪切りにして部分的に内部含水率の再計測を行う。

c) 焼却時間

焼却装置に着火材となる枝葉等をおいて着火し、火力が種火として安定してから根株を投入。根株投入後から根株が燃え尽きるまでの時間を計測する。

d) 煙の発生状況

根株投入後からの煙の発生状況を目視にて確認する。煙の発生は、周辺住民からの苦情の元になり、今後の刈草焼却ができなくなる恐れがあることから、根株焼却中に大量の煙の発生が認められた時点で焼却を中止する。

e) 焼却温度計測（参考値）

根株焼却中の温度を非接触式温度計により計測する。計測箇所、計測時間を一定間隔としているわけではないため、焼却温度は参考値とする。



写真5 検証項目計測、根株焼却状況

(4) 実験の流れ

- ① 焼却ヤードを整備する。（焼却装置の設置、着火材用の枝葉等の準備、重機の配置など）
- ② 根株焼却前の重量、含水率を計測する。
- ③ 焼却装置に着火材となる枝葉等（又は刈草）をおいて着火し火力が安定してから根株を投入する。
- ④ 根株が燃え尽きるまでの焼却時間の計測と煙の発生状況の確認及び焼却温度の計測をする。
- ⑤ 焼却後、燃え残った根株があれば回収をして、切断を行い。根株内部の含水率の計測を行う。

3. 実験結果

(1) 根株燃焼実験 1 回目

a) 実施日

2025年2月21日（金）

b) 試料

- ・根株（除根直後 → 除根5日後）

泥付き（A-①）

重量：274 → 261kg（-13kg）

表面平均含水率：40.7 → 41.3%（+0.6%）

内部平均含水率：47.1 → 41.0%（-6.1%）

泥なし（A-②）

重量：111 → 98kg（-13kg）

表面平均含水率：39.4 → 35.1%（-4.2%）

内部平均含水率：43.1 → 35.9%（-7.1%）

小割（A-③）

重量：106 → 88kg（-18kg）

表面平均含水率：41.7 → 40.7%（-1.0%）

- ・根株（除根直後 → 除根2週間後）

泥付き（B-①）

重量：127 → 121kg（-6kg）

表面平均含水率：47.0 → 49.0%（+2.0%）

内部平均含水率：51.2 → 31.3%（-19.9%）

泥なし（B-②）

重量：72 → 64kg（-8kg）

表面平均含水率：40.1 → 31.3%（-8.8%）

内部平均含水率：45.1 → 28.9%（-16.2%）

小割（B-③）

重量：176 → 160kg（-16kg）

表面平均含水率：43.1 → 36.0%（-7.1%）

c) 焼却時間、焼却温度

30分：根株（除根5日後）小割（A-③）

根株（除根2週間後）小割（B-③）

60分：根株（除根5日後）

泥付き（A-①）、泥なし（A-②）

根株（除根2週間後）

泥付き（B-①）、泥なし（B-②）

焼却温度：950℃前後

d) 結果

- ・根株（除根5日後）

泥付き、泥なしの根株について、表面は炭化したが、燃え尽きるまでには至らなかった。60分間の焼却時間終了後の根株を輪切りにして内部の含水率を計測したところ、含水率が約40%あり、高温焼却しても根株内部の含水率の低下は期待できない事が分かった。

小割した根株は5日間の乾燥で表面含水率が40.7%まで低下した。除根2週間後の試料（同36.0%）と比較すると燃焼状況は劣るが、全ての試料に着火し、焼却できることを確認した。

焼却時の煙の発生量は少なかった。



写真6 根株（除根5日後）焼却状況

・根株（除根2週間後）

泥付き、泥なしの根株について、表面は炭化したが、燃え尽きるまでには至らなかった。60分間の焼却時間終了後の根株を輪切りにして内部の含水率を計測した所、含水率が約40%あり、高温焼却しても根株内部の含水率の低下は期待できない事が分かった。

小割した根株は2週間の乾燥で表面含水率が36.0%まで低下した。全ての試料に着火し、火種になるまで燃焼し、焼却できることを確認した。

焼却時の煙の発生量は少なかった。

1回目の燃焼実験で、火種に変わった根株は焼却が進むにつれて体積が小さくなり、架台上の網目から地面の灰受皿に落下してしまうことが分かった。そのため、次の2回目の実験では、より網目を細かくして、火種に変わった根株が落ちにくい構造とすることで、より焼却効率の向上を図ることとした。



写真7 根株（除根2週間後）焼却状況

(2)根株燃焼実験2回目

a)実施日

2025年5月23日（金）

b)試料

・根株（除根直後 → 除根3か月後）

泥付き（C-①）

重量：116 → 110kg（-6kg）

表面平均含水率：38.5 → 14.6%（-23.9%）

内部平均含水率：39.2 → 28.0%（-11.2%）

泥なし（C-②）

重量：74 → 71kg（-3kg）

表面平均含水率：30.0 → 25.8%（-4.2%）

内部平均含水率：41.1 → 37.9%（-3.2%）

小割（C-③）

重量：191 → 146kg（-45kg）

表面平均含水率：38.0 → 17.1%（-20.9%）

c)焼却時間、焼却温度

30分：根株（除根3か月後）小割（C-③）

60分：根株（除根3か月後）

泥付き（C-①）、泥なし（C-②）

焼却温度：950℃前後

d)結果

泥付き、泥なしの根株について、表面は炭化したが、燃え尽きるまでには至らなかった。60分間の焼却時間終了後の根株を輪切りにして内部の含水率を計測した所、含水率が約40%あり高温焼却しても根株内部の含水率の低下は期待できない事が分かった。

小割した根株は、3か月の乾燥で表面含水率が17%まで低下した。そのため過去の小割の試料に比べて、着火も早く、焼却できる事を確認した。

2回目の燃焼実験では、前回1回目の結果から、焼却装置の架台上の網目をより細かくし、火種に変わった根株が架台上から落ちにくい構造とした。刈草を着火用として根株の下に敷いて焼却を開始したが、網目を細かくしたこともあり、刈草の灰が架台上から落下せずに残ってしまい、送風が燃焼部全体に行き届かず、刈草が一部不完全燃焼となった。その結果、焼却時に通常の地面焼却の半分程度の量の煙が発生した。



写真8 根株（除根3か月後）焼却状況

4.考察

(1)根株燃焼実験結果について

a)根株燃焼結果の比較

- ・根株のまま（泥付き、泥なし）であると、乾燥期間3か月後でも、表面が炭化するのみで、内部までは完全に焼却できないことが分かった。
- また燃え残った根株を切断して内部の含水率を計測したところ、平均含水率が40～50%あり、乾燥前の初期値からの低下があまりみられないことが分かった。
- ・小割にした根株は乾燥期間5日で平均含水率40%程度ある状態でも、着火材や種火材さえあれば、完全に焼却できるということが分かった。
- また乾燥期間3か月後は（当初の平均含水率38.0%から）平均含水率17.1%まで低下した。乾燥期間3か月で含水率が20%以下に低下していることから、着火用の刈草、枝葉がなくとも、小割にした根株自体に着火が可能と考えられる。（薪ストーブ用の薪では、含水率20%以下が良いとされている¹⁾）
- ・以上のことから、焼却に使用すべき根株の状態は小割で乾燥期間3か月以上経過したものが適していると言える。

b)焼却装置について

今回実験で使用した焼却装置（モヤッシー）は前述のとおり刈草の現地焼却用として使用しているもので、根株焼却に使用する上ではまだノウハウが確立されていない部分（火力が安定するまでの着火材、種火材に何をどの程度使用するか等）が残っており改善点はあるが、今回の燃焼結果でも示されたとおり、燃焼温度900℃以上の高温で、煙の発生量がある程度抑えられるため、根株の現地焼却にも適した焼却装置だと現時点では考えられる。

(2)根株焼却に掛かる費用と従来の処分費との経済比較

a)検討方法

- 焼却装置（モヤッシー）を用いた根株焼却における歩掛・単価の設定を行い、従来の根株処分に掛かる費用との比較を行う。
- ※今回歩掛設定を行うにあたり、対象とするデータは2回の燃焼実験及び、その準備段階の根株の小割作業に基づいている。
- ※今回の設定は現時点のものであり、今後の試験や運用において見直すことを前提とする。
- ※金額は全て税抜き価格である。

b)従来の根株処分費

- 従来の根株の処分費については2024年度揖斐川樹木伐採工事参考とする。（表-3参照）
- 処分先は工事発注時の積算条件の処分費経済比較で最安値の処分先となっている。

運搬距離は1箇所を除き43.5km以下となる。尚、運搬費については、上記工事から平均は算出するが、施工場所によって運搬費は変わるため参考にとどめる。

c)根株焼却の歩掛・単価設定

- 破碎作業及び、焼却作業の歩掛・単価設定をする。
- ・破碎作業
 - 根株1つ当たりの重量は試験施工から40kg＝0.04t
 - 根株の破碎について1分に1株を破碎すると設定する。
 - 破碎は根株の内部まで引き裂かれた撒き割り状態で露出させ、表面積を増やして乾燥が進む状態の破碎（小割）とする。
 - 1分1株＝0.04tとして、1日7.5時間稼働とすると1日の破碎量は18tとなる。
 - 18tを伐採面積に換算すると3,600㎡となり、そこから1,000㎡当たりの歩掛を設定する。（表-4,5参照）
 - ・焼却作業
 - NETIS登録済みのモヤッシーの歩掛を参考に、根株焼却の歩掛を設定する。刈草と比べ焼却時間が長くなり、架台の損傷が激しいことからモヤッシーの使用単価を2倍として設定する。（表-6参照）

表-3 2024年度 揖斐川樹木伐採工事 根株運搬処分費

工 事 名	場 所	伐採面積 (㎡)	運 搬			処 分		
			数量(㎡)	単価(円)	金額(円)	数量(t)	処分単価(円)	金額(円)
令和6年度 揖斐川樹木伐採工事	杭瀬川左岸①	3,600	69	3,986	275,034	18	10,000	180,000
	杭瀬川右岸①	1,200	23	3,986	91,678	6	10,000	60,000
	杭瀬川右岸②	30,000	577	3,986	2,299,922	150	10,000	1,500,000
	杭瀬川左岸②	45,000	865	3,986	3,447,890	225	10,000	2,250,000
	杭瀬川左岸③	9,000	173	3,986	689,578	45	10,000	450,000
	牧田川右岸	4,000	77	3,986	306,922	20	10,000	200,000
	根尾川左岸	3,000	58	1,320	76,560	15	10,000	150,000
小 計		95,800	1,842	—	7,187,584	479	—	4,790,000
1㎡あたり単価(円)				75.03			50.00	
1㎡あたり重量(t)							0.005	

表-4 根株破碎重機費用

破碎重機費用	数量(日)	単価(円)	金額(円)
バックホ(排対2次) クロー型・山積0.45㎡(平積0.35㎡)	1	52,800	52,800
破碎機械 与作(小割専用アタッチメント)	1	25,600	25,600
合 計		—	78,400

表-5 根株破碎重機歩掛設定

1,000㎡あたり			
破碎重機歩掛	数量(日)	単価(円)	金額(円)
バックホ(排対2次) クロー型・山積0.45㎡(平積0.35㎡)	0.278	52,800	14,678
破碎機械 与作(小割専用アタッチメント)	0.278	25,600	7,117
合 計		—	21,795

表-6 根株焼却作業歩掛設定

1,000㎡あたり			
モヤッシー根株焼却歩掛	数量(日)	単価(円)	金額(円)
バックホ(排対2次) クロー型・山積0.28㎡(平積0.2㎡)	0.03	52,520	1,576
空気圧縮機(資料)2.5㎡/分,吐出圧力0.7MPa低騒音・超低騒音型	0.03	4,960	149
特許焼却装置 工法特許料 (機械損料を含む)	1000	8.10	8,100
合 計		—	9,825
※特許焼却装置 工法特許料の単位は㎡			

d)処分費比較

以上の結果から2024年度揖斐川樹木伐採工事の根株処分を焼却装置（モヤッシー）で実施した場合の費用を算出する。

- ・工事全体の伐採面積、従来処分費
b) の表-3より全体の伐採面積 95,800㎡…①
従来処分費 4,790,000 円…②
- ・根株焼却処分費
c) の表-4.5より破碎作業歩掛は
21,795 円/ 1,000㎡…③
全体の伐採面積における破碎作業費は
③÷1,000×① = 2,087,961 円/ 95,800㎡…④
c) の表-6よりモヤッシー根株焼却歩掛は
9,825 円/ 1,000㎡…⑤
全体の伐採面積におけるモヤッシー根株焼却費は
⑤÷1,000×① = 941,235 円/ 95,800㎡…⑥
④+⑥より 根株焼却処分費は 3,029,196 円…⑦
- ・従来処分費からの縮減額、縮減率
②-⑦より 従来処分費からの縮減額は
1,760,804 円…⑧
⑧÷②より 従来処分費からの縮減率は約36.8%となる。

表-7 2024年度 揖斐川樹木伐採工事 根株処分費比較

令和6年度 揖斐川樹木伐採工事 根株処分費比較 (工事全体の伐採面積 95,800㎡)					
従来処分費(円)	4,790,000				
根株焼却処分費(円)	3,029,196	→ 縮減額(円)	1,760,804	縮減率(%)	36.8
破碎作業費(円)	2,087,961				
根株焼却費(円)	941,235				

e) 根株焼却の施工量（日当たり、全体）

4 (1). c) で記述したが、破碎作業の日当たり施工量は 3,600㎡となり、2024年度揖斐川樹木伐採工事の全体の伐採面積95,800㎡に置き換えると
 $95,800\text{㎡} \div 3,600\text{㎡/日} = \text{約 } 27 \text{ 日}$ となる。
 焼却装置（モヤッシー）による根株焼却の日当たり施工量は今後の試験施工による。

5. 結言

(1) 今後の検討事項、課題

a) 今後の試行

4. 考察でも記述したとおり、乾燥期間3か月以上の小割した根株を使用すれば、根株焼却作業の効率がより向上すると考えられる。次回の乾燥期間5か月後の根株を用いた燃焼実験でその点が確認できると考えている。

b) 樹木伐採から根株焼却までのフローの構築

樹木伐採工事と堤防除草工事との連携で根株焼却を実施することを検討している。各工事での実施範囲及び、フローは図-1の通り考えている。

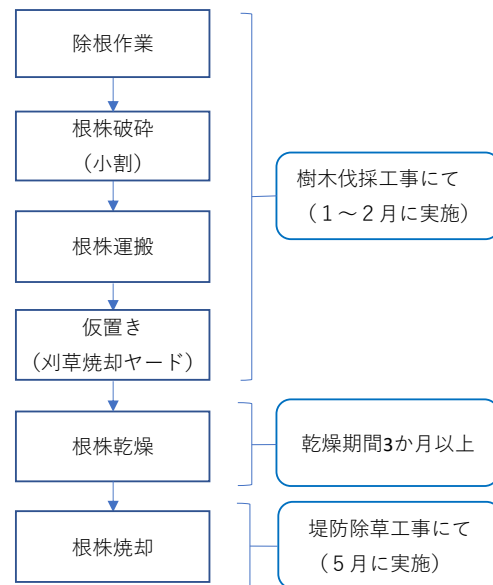


図-1 樹木伐採から根株焼却までのフローチャート

c) 実証データの蓄積、サイクルタイムの確立、歩掛算出

今回試行で焼却した根株の量は1試料最大で270kg程度であった。しかし実際の樹木伐採工事の根株の処分量は2021～2024年度実施工事の平均で一工事あたり400t以上発生しており、一工事で発生する大量の根株の破碎・焼却のサイクルを実施してみなければ、今回の試行が実用可能なサイクルなのか判断ができない。実際の工事での試行の中で、より正確なサイクルタイムが確立され、より正確な根株焼却の歩掛が算出され则认为している。

d) 焼却後の根株の処分

焼却して灰となった根株は、重機のクローラーでさらに細かく破碎して焼却場の土に混ぜて整正することを考えている。

以上、今回試行は今年2月より始動したばかりであり、課題は多数残っているが、実用可能であれば、河川維持修繕費の縮減に大きく寄与する手法であると考えている。引き続き関係者各位との協力のもと検証を続けていく所存である。

謝辞： 本試行の実施及び本稿の作成にあたり、ご協力及びご助言をいただきました、岐阜大学環境社会共生体研究センター原田守啓教授、(株)山辰組様、加藤建設(株)様、(株)大橋組様ならびに、所内関係各位に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 岐阜県森林研究所 HP(森林のたより 2013 年 12 月号掲載) : <https://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/rd/kankyou/mori131201.html>