

34. 三宅島の自然再生・地域活性化に向けた枯損木炭化リサイクルの試み

Attempt of withered tree carbonization recycling toward natural reproduction and local revitalization of Miyake-jima

渡邊篤*、肥沼彰**、村松正重***、藤原靖****、大川原良次****

Atsushi WATANABE, Akira KOENUMA, Masashige MURAMATSU, Yasushi FUJIWARA, Ryoji OKAWARA

ABSTRACT ; About 60% of the forest (approximately 2,500ha) was damaged by generating a large amount of harmful volcanic gas (SO₂) from the crater by the eruption in 2000 in Miyake-jima. Using a large amount of withered tree as "Not waste but environmental improvement materials (= charcoal)" contributes to an environmental reproduction and regional promotion of Miyake-jima. Moreover, this can contribute also to the exhaust reduction of CO₂ by fixing the carbon. This study was performed to aim to collect various data for the development in the future, and checked the economy of the carbonization and toxicity, quality, production method etc.

It was confirmed that heavy metal etc. doesn't contain about toxicity. As for quality, although specific gravity is small, the carbon content is 80% or more, and pore was more than the equal to charcoal on the market, and it was proved that adsorption performance was high. By this trial, the carbonization processing cost, toxicity, the quality, and the cost of making to the product, etc. become clear, and it will be used as basic data to make the Miyake-jima reproduction scheme in the future.

KEYWORDS ; Charcoal, charcoal roasted kiln, withering tree, regional promotion

1 はじめに

三宅島 2000 年噴火により、有害な火山ガス(SO₂)が火口より大量発生し、島内森林の約 60% (約 2,500ha) が被害を受けた(写真-1,2)。最近では、立枯れと倒木化により、更なる土石流の発生が懸念されており、大量の枯損木の処理と植生再生は、土石流被害拡大防止と自然回復という観点から喫緊の課題と言える。本取り組みは、大量の枯損木を「廃棄物とするのではなく、環境改善資材(=炭)として活用」するものであり、炭焼き窯の築造から炭の生産、品質の照査を行ったので、その結果を報告する。



写真-1 立枯れと倒木状況



写真-2 立枯れした樹木

*大成建設(株) エコロジー本部、環境計画・アセスメントグループ Environmental Planning & Assessment Group Ecology Div, Taisei Corporation, 1-25-1 Nishi Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-0606 JAPAN, **東京都建設局河川部, ***大成建設(株) 東京支店, ****大成建設(株) 技術センター

2 取り組みの概要

2. 1 炭焼き窯の築造

現地には大量の枯損木、流木等が存在する。しかし、それらは有限であり、将来も安定的に確保できる資源ではない。従って、炭化炉についても効率化、省力化を重視した近代的炭化炉ではなく、昔ながらの「炭焼き窯」方式を採用した。この炭焼き窯は、現地発生土と石を主要な材料としているため、目的達成（枯損木処理）後には容易に埋め戻して土に還することができる。また、炭焼きという伝統技術を使用するため、地域のシルバー層を中心とした人材を活用することができ、このことは地域の活性化にもつながる。

以下に、炭焼き窯の計画図（図-1,2）および、炭焼き窯の築造状況（写真-3,4）を示す。

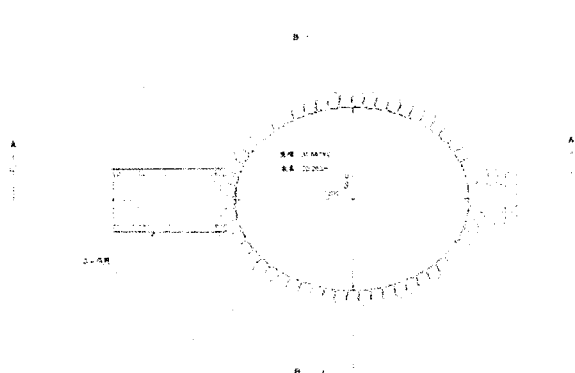


図-1 炭焼き窯平面図

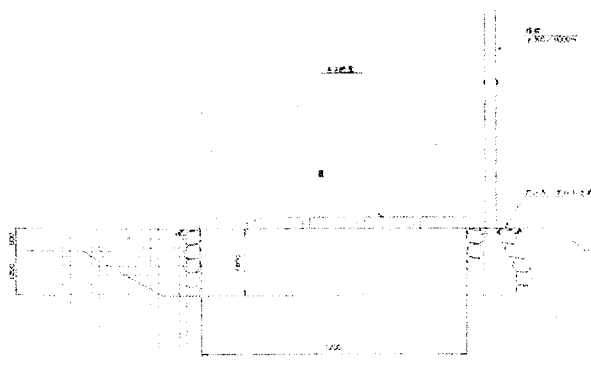


図-2 炭焼き窯断面図

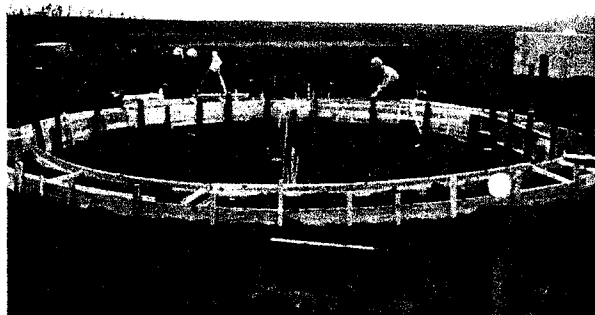


写真-3 窯全景（天端コンクリート型枠状況）



写真-4 窯内部の状況（石積み）

2. 2 炭焼き試験

炭焼き窯の性能および、生産した炭の品質（環境適合性、物理化学的特性）を照査することを目的とした試験を実施した。試験の概要を表-1～3に示す。

当地においては、大量の枯損木を効率的に炭化処理することが求められている。そこで、炭化試験は、「原材の状態」「材の投入方法」および「炭化時間」をパラメータとして、表-1の8ケースを実施した。

表-1 試験ケース

材の投入方法	原材料の状態	均一径		混合			根株
		太径（φ300～500）	細径φ200程度以下				
		標準サイクル	標準サイクル	標準サイクル	伸長サイクル	短縮サイクル	
1.5m玉切＋縦詰め				ケース1			
不定長＋投げ込み	ケース3		ケース2	ケース4,8	ケース5	ケース7	ケース6

生産炭の利用目的として土壌改良、調湿、水質浄化等を想定し、「環境適合性試験」および「物理化学的特性試験」を実施した。試験項目を表-2,3に示す。

表-2 環境適合性試験項目

試験項目	基準、目的	備考
1. 硫化物	火山ガスの影響、硫酸、酸性化	原材および炭化材
2. 塩化物	ダイオキシン発生の可能性の有無	同上
3. 鉄、亜鉛	金属の含有量	同上
4. カドニウム、ヒ素、水銀、ニッケル、クロム、鉛	毒性（肥料取締法、農薬、水質）	同上

表-3 物理化学的特性試験項目

試験対象	試験項目	試験目的	試験数量	備考
成分試験	1. 固定炭素量	炭の品質（炭素含有量）	各ケース1体	活性炭95%、ケシ炭65%
	2. 細孔量	比表面積、吸着性能、吸湿特性	同上	
土壌改良材の品質特性	1. 陽イオン交換容量（CEC）	保肥性、保水性	同上	土壌混合時の土壌CECの変化
	2. 交換性陽イオン	同上	同上	同上
	3. pH	アルカリ性、酸性	同上	三宅島酸性土壌への対応
	4. 電気伝導度（EC）	植生の吸肥性	同上	
調湿材の品質特性	1. 水蒸気吸着特性	吸湿性	同上	
水質浄化材の品質特性	1. ヨウ素吸着量	吸着性	同上	活性炭80mg/g、炭100～200mg/g

3 試験結果および考察

3. 1 炭焼き工程

炭焼きの状況および生産炭を写真-5,6に示す。



写真-5 炭焼き状況



写真-6 生産した炭

次ページ（表-4）にケース毎の設定条件、および炭焼きの工程と状況についての結果を記す。

生産炭量については、ケース2の細径が最も良いが、ケース4,7のように幹径混在（投入方法は投げ込み）でも良好な結果を得た。それに対してケース3の太径のみで炭化した場合には生産炭量が少なかった。従って効率的な炭化方法としては、幹径混在で投げ込み方式が良いと思われる。

炭焼きの工程については、炭焼きの経験者からの指導を受けながら調整した。不完全炭化の状況等を勘案すると、薫蒸を含め全工程9～11日程度の期間が炭化には必要であると思われる。

根株の炭化についてはケース6で炭化に失敗しているが、これは雨水が窯内に浸水したことによるものであり、ケース8では、根株を含んだ材の炭化に成功している。根株のみの成功例は得ていないが、ケース8で根株が完全に炭化していることから、技術的には可能であると考えられる。

表-4 ケース毎の炭焼き工程および状況

試験 ケース	試験条件				炭焼き状況					炭化状況			
	投入材	投入量	投入方法	その他	全工程	炭化時間	窯内温度	閉窯時間	その他	*3) 残存量	不完全炭化量	生産炭量 大壺土のう	その他
ケース1	幹径混在	37.6m ³	*1) 縦詰	送気は1日 のみ	10日	5日		3日	5日日より 空気量調整	45%	10%	3.4m ³ (4袋)	釜奥に残存
ケース2	細径 25cm以下	37.6m ³	*2) 投込み	着火2日 AM送気	9日	4日		3日	4日日より 空気量調整	65%	2%	10.2m ³ (12袋)	焼き1を除く 全体に残存
ケース3	太径 30cm超	37.6m ³	投込み	着火2日 送気	11日	6日		3日		30%	5%	2.5m ³ (3袋)	中央部に残存
ケース4	幹径混在	37.6m ³	投込み	着火2日 AM送気	10日	5日	3日目朝より 定常 238℃	3日	5日日より 空気量調整	50%	2%	8.5m ³ (10袋)	焼き1を除く 全体に残存
ケース5	幹径混在	37.6m ³	投込み	着火2日 AM送気	11日	6日	3日目朝より 定常 238℃	3日	4日日より 空気量調整	40%	3%	6.0m ³ (7袋)	焼き1を除く 全体に残存
ケース6	根株	37.6m ³	投込み	着火3日間 送気	10日	6日	MAX380℃	2日	2日目大雨 窯内浸水	1%	1%	0	大部分が焼 失、炭化初日 に15cm冠水
ケース7	幹径混在	37.6m ³	投込み	着火2日間 送気	9日	4日		3日	4日日より 空気量調整	60%	7%	9.3m ³ (11袋)	焼き1を除く 全体に残存
ケース8	樹種混在 (含根株)	37.6m ³	投込み	送気は1日 のみ	10日	5日	MAX366℃	3日	5日日より 空気量調整	35%	2%	5.1m ³ (6袋)	根株完全炭化

*1) 人力による延込み

*2) 0.45m³バックホウフォークによる投入

*3) 目視による残存量測定

3.2 環境適合試験結果

炭焼き試験に用いた原木と生産された炭に関しての環境適合試験結果を表-5に記す。炭に関しては、タブとスダジイの炭を1:1の比率で混合して分析した。

表-5 環境適合試験分析結果

分析項目		試料名・測定値				基準値例				分析方法
		原木		炭		土壌含有量 基準値 (mg/L)	適合	汚泥肥料等 の基準値 (%)	適合	
		(mg/kg)*	(%)	炭(mg/kg)*	(%)					
全鉄	Fe	17.4	0.00174	190	0.019	—		—		原子吸光測定法「栽培植物分析法」
全亜鉛	Zn	9.7	0.00097	6.0	0.0006	—		—		原子吸光測定法「栽培植物分析法」
全水銀	Hg	0.1	0.00001	0.07	0.000007	15	○	0.0002	○	還元気化法「栽培植物分析法」
全ヒ素	As	0.1>	0.00001>	0.1>	0.00001>	150	○	0.005	○	ジエチルジチオカルバミン酸銀法「栽培植物分析法」
全カドミウム	Cd	0.1>	0.00001>	0.1	0.00001	150	○	0.0005	○	原子吸光測定法「栽培植物分析法」
全ニッケル	Ni	0.3	0.00003	0.1>	0.00001>	—		0.03	○	原子吸光測定法「栽培植物分析法」
全クロム	Cr	0.7	0.00007	1.3	0.00013	250	○	0.05	○	原子吸光測定法「栽培植物分析法」
全鉛	Pb	0.6	0.00006	0.8	0.00008	150	○	0.01	○	原子吸光測定法「栽培植物分析法」
		(g/kg)	(%)	(g/kg)	(%)					
全硫黄	S	7.1	0.71	2.0	0.2	—		—		乾式燃焼法(CONSアライザー)「栽培植物分析法」
塩素	Cl	0.27	0.027	0.33	0.033	—		—		硝酸銀法「栽培植物分析法」

【特記事項】

(1) *単位はSI単位を基本に表す(mg/kgまたはg/kg)。**%に換算した値。単位は乾物あたり。

(2) >は定量下限値未満。

毒性については、炭の用途により基準の値が設定されており、一概に安全性を評価することは出来ない。しかし、今回の目的の一つである「土壌改良材としての利用」については、土壌含有量基準値および汚泥肥料等の基準値に照らして安全性が確認された。「水質浄化材としての利用」についても、重金属類の量から考えて問題となるレベルにはないと思われるが、実際の使用時には、条件を設定した溶出試験を行い、安全性の照査を行うことが望ましい。

3.3 物理化学的特性試験結果

生産された炭の用途について検討するため、物理化学的特性についての試験を行った。生産炭の比較材料として、市販活性炭、市販備長炭を用いた。試験結果を表-6に示す。

表-6 試験結果要約

試験項目	単位	市販活性炭	市販備長炭 カシ	生産炭	
				平均値	標準偏差
全窒素 (T-N)	(%)	0.3	0.4	0.3	0.2
全炭素 (T-C)	(%)	92.2	92.2	85.6	6.2
C/N		347.6	220.6	350.7	183.5
pH		6.7	12.1	8.0	1.2
EC	(mS/m)	25.0	410.0	74.8	81.5
交換性陽イオン	(meq/100 g)				
	Ca	0.4	23.0	6.2	7.0
	Mg	0.2	2.0	0.9	0.9
	Na	0.3	0.4	1.5	2.2
	K	0.6	8.8	5.3	6.3
	Total	1.6	34.2	14.0	14.2
陽イオン交換容量 (C.E.C.)	(meq/100 g)	4.6	3.1	4.0	5.2
ヨウ素吸着量	(mg/g)	1830.0	32.0	309.8	119.7
水分吸着量	(g/kg)	407.8	121.9	125.1	25.0

全炭素含有量は、市販の活性炭と備長炭が約 92%であるのに対して生産炭は約 86%であり、全窒素はいずれも同様に小さい。炭素および窒素含有量からみて、本実験での炭化は良好に行われたと考えられる。

(1) 土壌改良資材としての性質

pH は市販の活性炭よりやや高く、備長炭の約 12 に対して約 8 と低い値を示した。酸性土壌の中和資材として利用する場合は、緩和な資材と考えられる。

電気伝導度 (EC) は、活性炭の約 3 倍、備長炭の約 1/5 であり、各種の陽イオン・陰イオンの供給量は備長炭に比較すると小さい。植物の生育に必要な微量元素などの必須元素の供給という点では備長炭よりも小さいと考えられる。交換性陽イオンは、活性炭に比較し、生産炭と備長炭の両方で多く、特に交換性カリウムは生産炭で 5.3meq/100g と比較的大きな値を示しており、植物の生育にとって重要な養分であるカリウムの潜在的供給能を有していると考えられる。

陽イオン交換容量 (CEC) は、いずれの試料も 4meq/100g 前後でほぼ同様である。CEC は、陽イオンを保持する能力であり、施肥された肥料成分が流亡することなく保持される植物に利用される能力を知る上での指標となる。その点では、生産炭は活性炭や備長炭と同程度の養分保持力を有していると考えられる。

以上の結果より、生産炭は備長炭とほぼ同等の性能を有しており、土壌改良材として活用することが可能であると考えられる。

(2) 浄化材・調湿材としての性質

活性炭の吸着性能試験法であるヨウ素吸着量は、活性炭が約 1830mg/g、備長炭が約 32mg/g、生産炭が約 310mg/g で、生産炭は活性炭の約 1/6 であるが備長炭の約 10 倍であった。各種物質の吸着能力が比較的高い炭であると考えられる。

水分吸着量は、活性炭が約 408g/kg、備長炭が約 122g/kg、生産炭が約 125g/kg であり、生産炭と備長炭は活性炭の約 1/4 であるが、調湿材として十分に利用可能であると考えられる。

上記測定のほか、物質の吸着性能を照査するために、水銀圧入法 (炭の表面に水銀を加圧しながら加えて、加えた圧力と炭が吸収した水銀量との関係から表面の孔の大きさと面積を測定する方法) を用い、比表面積および細孔特性を測定した。結果を表-7、および図-3~6に示す。

水銀圧入法による比表面積の測定結果は、活性炭が $71.7\text{m}^2/\text{g}$ 、備長炭が $37.1\text{m}^2/\text{g}$ 、生産炭が $42.2\text{m}^2/\text{g}$ であり、生産炭は活性炭の約 1/2 であるが備長炭よりも大きい値を示した。細孔特性を見ると、活性炭は $1\sim 10\mu\text{m}$ および $0.01\mu\text{m}$ 以下の小さな径が中心となっているのに対して、備長炭と生産炭は $0.1\sim 10\mu\text{m}$ の径が多い。

以上の結果より、生産炭は活性炭には及ばないが、備長炭とほぼ同等以上の細孔を持っており、各種物質の吸着性が高いと考えられる。このような細孔は、微生物の棲息空間となるため、微生物による分解・浄化の機能が期待できる。

表-7 炭の比表面積

	単位	活性炭	市販の炭 カシ	生産炭	標準偏差 SD
比表面積	m^2/g	71.7	37.1	42.2	30.0

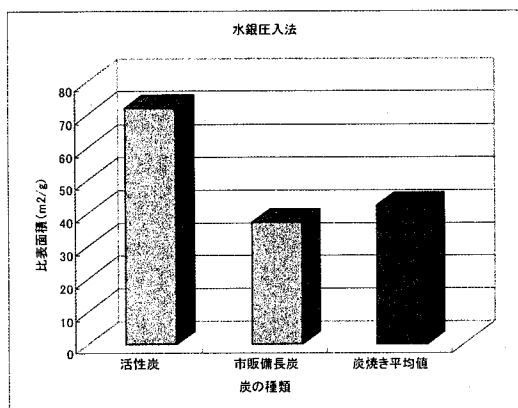


図-3 細孔特性結果（水銀圧入法）

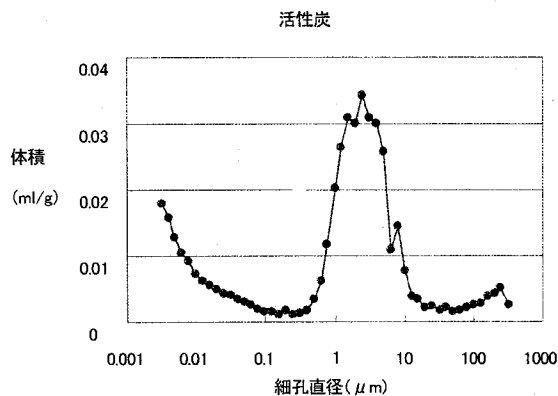


図-4 細孔特性（活性炭）

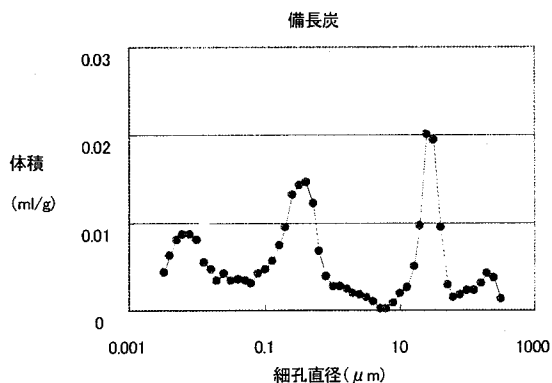


図-5 細孔特性（備長炭）

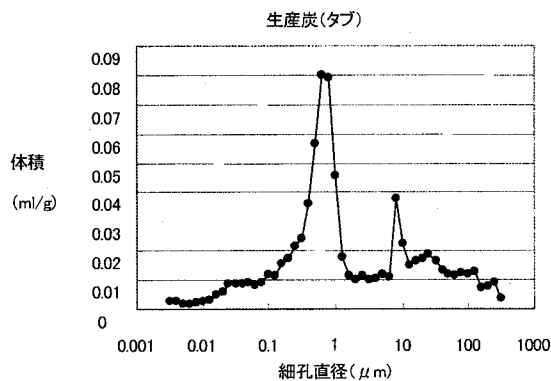


図-6 細孔特性（生産炭：タブ）

4 まとめ

以上の試験結果から、今回の炭焼き試験で得られた炭は市販の国産木炭と遜色なく、新用途の木炭として各種用途に適用できる可能性が示された。現在、東京都では三宅島での木炭生産の事業化へ向けて、官民協力してのスキーム作りについて検討している。今回の試みによって、炭化処理コスト、毒性、品質、製品化コスト等が明らかとなり、今後の三宅島再生スキームを作成するための基礎データに活用されることになる。

（引用図書）

施肥診断技術者ハンドブック（2003）JA 全農 肥料農薬部
 栄養診断のための栽培植物分析測定法（1975）作物分析法委員会編 養賢堂
 土壌標準養分分析法（1986）土壌肥料学会監修 博友社