

IV-6 草木廃材の緑化資材としての有効利用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：材料地盤研究グループ(リサイクル)

研究担当者：尾崎正明、落修一、宮本綾子、牧孝憲

【要旨】

土木工事や公共緑地の管理から発生している草木廃材の資源化・利用に寄与するために、草木の発生量に係わるデータベース化の基礎的知見を得る調査をダム流木を中心に行うとともに、資源化利用技術として、土木工事から発生する伐採・抜根材の緑化・吹付資材化、園芸資材化技術と、緑地管理由来草材の炭化技術の開発に関する研究を行った。その結果、ダムにおける流木発生現象が明らかとなるとともに、全国レベルの発生量の概要を把握できるようになった。また、木質材に爆砕を施したものは法面吹付資材化が可能であり、更に、それにコンポストを施すとピートモス代替としての園芸資材化も可能であった。草材を用いた基礎的な炭化実験から低温・短時間炭化法が有望となることが示唆された。

キーワード：草木、流木、ダム、緑化、爆砕、ピートモス、コンポスト、炭化

1. はじめに

土木工事をはじめ、道路や河川、海岸、空港、公園、ダム等の緑地管理から伐採木や抜根材、流木、刈草が大量に発生している。しかし、これらの有機質廃材のリサイクル手法は限られており、資源としての利用拡大が求められている。一方、掘削や盛土などの土木工事ともなう法面緑化工や緑地造成のために多くの有機質資材が投入されており、そこでは一部を海外天然材に依存している場合もある。

本研究は、大量に発生する草木廃材を法面緑化、緑地造成・保全のための資材化技術を開発し、地域や流域などにおける広域的な資源化・循環システムの構築に資することを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、発生する草木廃材を資源として捉え、発生量および発生形態から資源化利用に繋げるデータベース構築の基礎的知見を得るための調査を行うとともに、資源化利用技術として、土木工事から発生する伐採木や抜根材の現地における完全利用・還元を図るための緑化・吹付資材化技術および園芸資材化技術と、公園や緑地などから定期的に、恒常的に発生する除草材を対象とした炭化技術の開発に関する研究を行った。平成 17 年度は、ダム流木発生量調査を継続するとともに、緑化資材化開発のために行っている法面吹付試験フィールドの追跡調査、

木質爆砕物の園芸資材化のためのコンポスト化実験および緑地除草材（雑草刈草）を対象とした大量炭化技術を開発するための基礎的な実験を行った。

3. 研究結果

3.1 ダム流木発生量調査

3.1.1 調査方法

全国の貯水池に流入する流木量を把握するために、全国 196 箇所を対象にアンケート調査を行い、平成 15 年度までの実績値に基づき流木の発生量の概略が推測できるようになった¹⁾。平成 16 年度に大型台風の頻繁な上陸を経験したことから、このときの大規模出水時の実態を把握するために、これまでと同様の 196 箇所のダムに、上陸した 10 個の台風による流木発生量を主体としたアンケート調査を行った。また、流木発生量評価や予測の精度向上のために、ダム堆砂量との関係を調べた。

3.1.2 調査結果

1) 流木の発生量

平成 15 年度より過去 5 年間の年度毎流木発生量と平成 16 年度における主に 10 個の台風来襲に起因する流木発生量をアンケート収集した 196 箇所のデータ集計値として表-1 に示す。平成 16 年度は特異的に相当量の流木が発生していたものであり、特に台風の通り道に位置した県管理のダムでは例年がない発生量があったものである。

表-1 調査した全国 196 箇所の流木発生量実績

	調査ダム数 (箇所)	全・流入面積 (km ²)	流木発生量 (m ³)					
			(平成11年度)	(平成12年度)	(平成13年度)	(平成14年度)	(平成15年度)	(平成16年度)
国・水機構管理	99	27,419	28,895	55,796	32,722	28,206	82,954	51,727
県管理	97	10,914	10,899	4,911	9,033	5,870	8,103	36,903

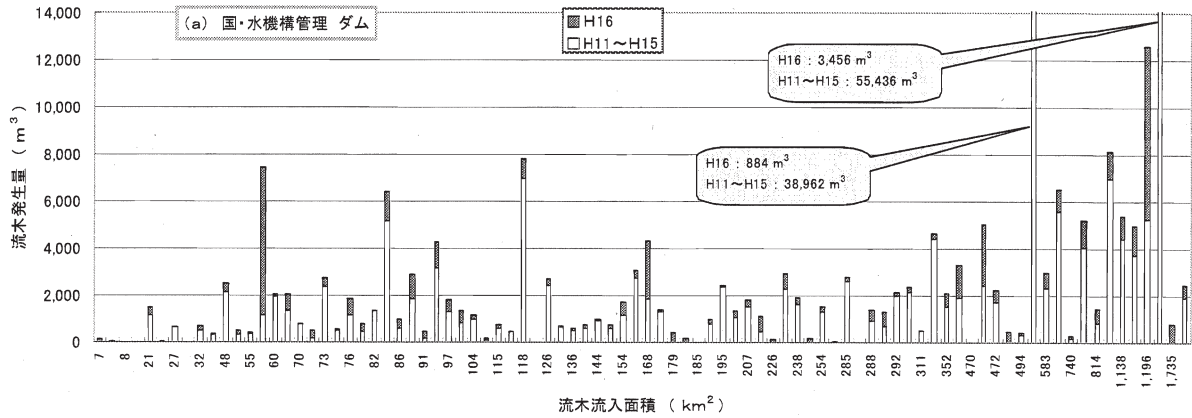


図-1 流木発生量実績 (その1)

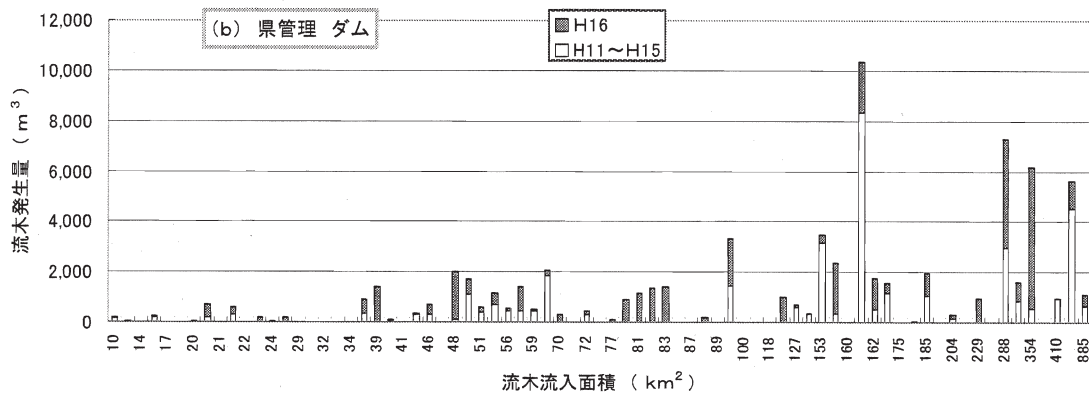


図-2 流木発生量実績 (その2)

図-1と図-2に管理主体別に調査したダム毎の流木量データを流木流入面積基準で示した。これらから共通して言えることは、流木の発生量が流域面積のみに依存している訳ではなく、年毎の流木発生はその地域が見舞われる豪雨の影響を大きく受けていることが伺われる。各ダムにおける年度毎発生量の一括表示はデータ数が多く明瞭表示が困難であったことから過去5カ年の一括表示としたが、特筆する現象として次の2つが読み取れるものであった。1つは、これらの図中で流域・流入面積とは関係なく流木発生量が多くなっているダムの特徴は、或る年度のみが発生量が特異的に多くなってケースが多い。これは地域不特定して起こる台風や梅雨前線等による集中豪雨が大量の流木発生をもたらしていることにある。もう1つの特徴は、毎年度コンスタン

トな発生が見られるダムが存在することである。流木の発生現象を考えた場合、不法投棄を別として、土壌流亡や斜面崩壊に起因する倒木・流出木が大部分と考えられる。地盤が通常経験しない集中豪雨が起す斜面崩壊は避けようもない現象であるが、少々の豪雨でも生じている土壌流出に起因して安易に生じる倒・流木現象は森林管理の不備にある。特に、この現象は次項2)で触れる流砂・堆砂と強く関係していると思われ、毎年コンスタントな流木発生があるダムは、流域の地勢調査に基づく植生管理にも関与して行く必要があると思われる。

2) 流木発生量と堆砂量

流木発生とダム堆砂は、風雨や斜面崩壊などといった類似の要因によって引き起こされると考えられることから、双方には高い相関性があるものと推察

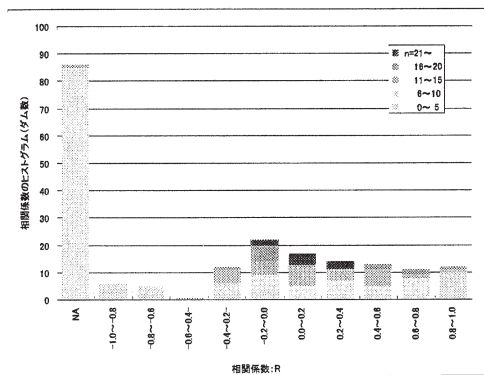


図-3 堆砂量と流木発生量における相関係数のヒストグラム

される。個々のダム毎に流木発生量とダム堆砂量との相関係数を求めた結果の階級区分を図-3に示す。縦軸は各階級に属するダムの数を示し、NAは有効サンプル数の不足などにより相関係数算定ができなかったことを示す。本解析では80を超えるダムが算定不能であった。また、相関係数の階級区分のピークが0付近にあり、相関性が見出せないケースが多かった。しかし、結果は、有力な相関性を示す事例も相当数存在することを示しており、現象解明に繋がる可能性が高い。

図-4は、昭和53年度から平成16年度の間各年度における196箇所の全てのダムの堆砂量と流木流入量の合計値を求め、全国総計をベースにした双方の関係を示したものである。結果は、相当に高い相関を示し、全国レベルで見た場合、堆砂量と流木の発生量は一体として捉えるべき事象であることを示している。

これらを踏まえ、今後より精度の高いデータを得るために以下の項目を検討していく必要がある。

- i) 降雨データの収集
- ii) 森林施業状況と流木発生量の関連性
- iii) 森林の健全性と流木発生量の関連性
- iv) ダム流域に関するGISデータ作成
- v) 流木計測方法の検討
- vi) 流木利用に関するガイドラインの作成
- vii) 流木インベントリーの整備
- viii) 近接ダムとの連携による効率的な利用の可能性検討
- ix) 地域の需要ポテンシャルマップの作成

これらは、i)～v)をより詳細に調査、充実することにより流木発生要因を明らかにすることができる。また、vi)とvii)によって流木利用者側へ有用な情報を提供することができ、流木利用が促進さ

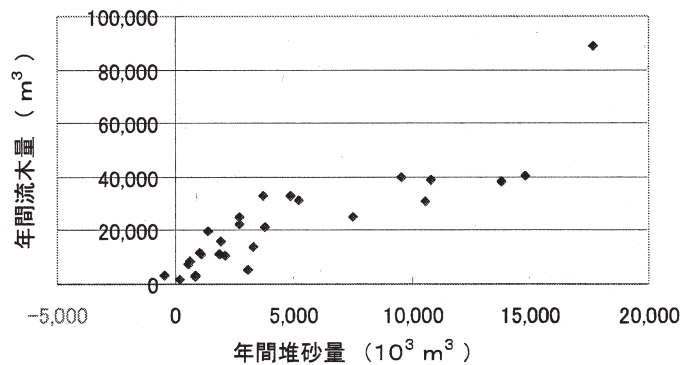


図-4 全国196箇所ダム合計値による年間堆砂総量と年間流木発生量の関係

表-2 吹付・緑化試験の配合

		広葉樹 爆砕物(L)	パーク 堆肥(L)	接合剤 (kg)	肥料 (L)	中和資材 (kg)
爆砕 試験区	爆3	510	1,190	0.85	170	0.85
	爆3中多	510	1,190	0.85	170	2.55
	爆5	850	850	0.85	170	0.85
	爆7	1,190	510	0.85	170	0.85
対照区	未分解木質チップ 1,700 L		0.85	170	-	
標準区	-	1,700	0.85	170	-	

仕上がり1m²あたり(圧密度は59%とした)

れると考えられる。更に、viii)とix)により効率的な流木の利用、需要の喚起が期待できる。

ダム管理において流木は招かざるものである。しかし、過去の多くの事例が示しているように、ダムが大量の倒木流出から下流域の社会資本をはじめ社会活動を守っているのは事実である。これからは、発生する流木の資源化利用を図りつつ、流域の森林管理の在り方までに関与し、その発生抑制策を土砂流亡と合わせて追求して行く必要がある。

3.2 緑化・園芸資材の開発

3.2.1 木質爆砕物を用いた法面緑化の植生追跡調査

これまでの研究^{2), 3)}から、木質材は爆砕処理の強度(温度、圧力、蒸煮時間)を調節することによりピートモスと類似した性状に改質できることが示され、平成16年3月には、当研究所内の盛土法面において広葉樹爆砕物を法面緑化資材とした表-2に示す配合による吹付・緑化試験を開始した。この試験フィールドにおいて、木質爆砕物を用いた法面緑化技術を確認するための植生の追跡調査を行った。

各試験区生育基盤のpHおよびフェノール性物質量の経時変化を図-5および図-6に示す。造成初期は、中和資材の添加によってアルカリ性を呈していたが、降雨による溶脱等の影響によりpH7近傍まで低下した。電気伝導率も同様に中和資材や肥効

成分などが溶脱したため低下し、同様に発芽・生育阻害物質であるフェノール性物質および有機酸も施工後 20 週までに大きく減少した。これには、微生物による分解も大きく関与しているものと思われる。

施工後 20 ヶ月の試験区の全景を写真-1 に示す。爆砕試験区および対照区では、施工直後には導入した緑化草本植物が発芽・生育していたが、徐々に枯死した。これは、造成初期に多量に含有していた発芽・生育阻害物質が影響していたためと考えられる。一方、発芽・生育阻害物質含有量が少ない標準区では、導入した緑化草本植物の生育は良好に推移し、それによって 90%以上の全体被覆率を示した。

爆砕試験区および対照区では、導入した緑化草本植物の発芽・生育による十分な法面の被覆はみられなかったが、その空間に周辺環境から侵入・定着した植物が観察され、それらによって法面は十分に緑化された。外部から定着した植物は主にイネ科植物やキク科植物の 10 種程度の草本植物であり、それらによる被覆率は全体被覆率の約 9 割を占めていた。一方、標準区では侵入植物は殆ど観察されなかった。本試験でも観察されたように、有機質系植生基材吹付工は、生育の早い緑化草本植物を導入することで急速緑化を可能にしている。一方で、導入した緑化草本植物による植生、すなわち一次植生が持続して植生遷移が停滞する問題が以前から指摘されている。爆砕試験区では、多量の発芽・生育阻害物質が含有されていたために導入した緑化草本植物による十分な緑化は達成できなかったが、それらの物質は造成後のすみやかな分解・溶脱により生育基盤環境が改善されたと評価できる。そこに周辺からの侵入草本植物が定着したことを考えると、爆砕試験区および対照区では今後、遅滞なく適切な植生遷移が進行すると推察される。

図-7 は、苗木によって導入したアカメガシワの樹高の経時変化である。爆砕試験区および対照区では良好な生育が観察されたが、標準区では大きな生育はみられなかった。ヤマハギも同様に標準区では生育が劣っていた。これらは、植物種の特性によって最適な生育環境が異なることに起因すると考えられる。一般に、木本植物は緑化草本植物より貧栄養環境に生育すると考えられ、二見ら⁴⁾も未分解木質チップを用いた法面緑化において同様の調査報告をしている。

以上の結果から、木質爆砕物を用いた法面緑化は、緑化草本植物による急速緑化は困難であるが、貧栄

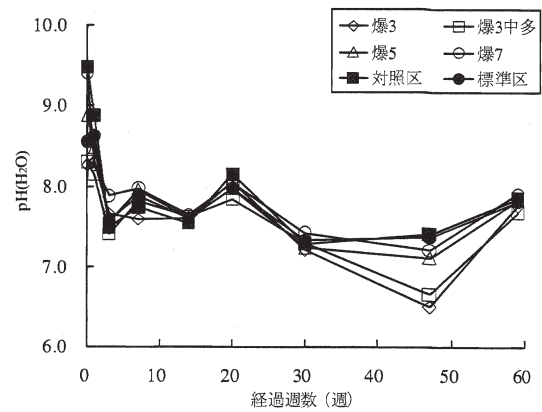


図-5 生育基盤の pH (H₂O) の経時変化

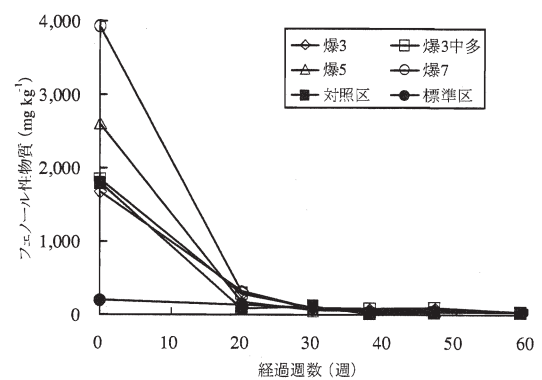


図-6 生育基盤のフェノール性物質量の経時変化

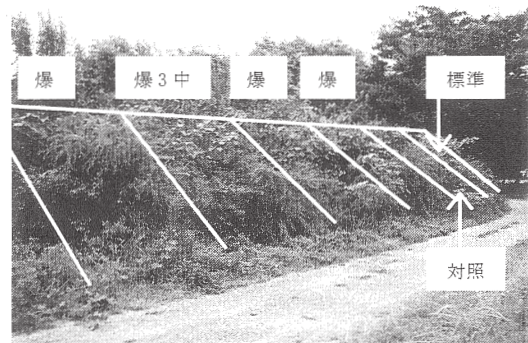


写真-1 施工後 20 ヶ月目の全景

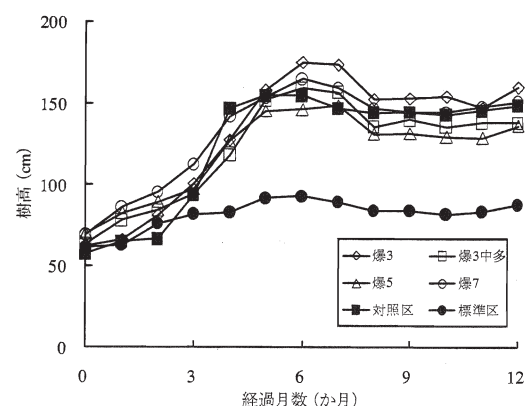


図-7 アカメガシワ樹高の経時変化

養であるため木本植物の生育には適しており、山中で多く実施される法面緑化工の特徴を考慮すれば、周辺環境に調和した緑化が期待できると考えられる。また、周辺からの侵入植物および木本植物によって植生が成立するまでには時間を要するが、木質爆砕物によって造成された生育基盤は、十分な耐侵食性を有していることから造成法面の侵食・流亡は回避できると考えられる。

本研究によって、木質爆砕物の有効利用はピートモスの採取および廃木材の最終処分による環境負荷の軽減、すなわちリサイクルや省資源の面で効果的である可能性が示唆された。今後は、法面緑化工が本来の植物群落の植生となるまでに一般的に最低でも5、6年を必要とするため、さらに継続した追跡調査を行い評価していく必要がある。

3.2.2 木質爆砕物コンポスト化実験

1) 実験方法

本研究により、木質に爆砕処理を施すと爆砕物中に酸性物質や植物の発芽・生育阻害物質が生成されることが分かっている。このために、天然資材であるピートモスの代替品としての木質爆砕物の園芸資材化を目指したコンポスト化実験を行った。

実験は、原料に針葉樹と広葉樹爆砕物を、中和資材に炭酸カルシウムを、また、事前に作製した種コンポストを用いて内径30cm、高さ85cmの塩化ビニル製発酵カラムに仕込み35℃の恒温室において行った。実験は、醗酵温度の低下、安定が認められた14日間行った。また、そこから得られたコンポストは樹木種子の発芽試験に供した。

発芽試験には、ヤマハギ、コマツナギ、ヌルデ、アキグミ、アカメガシワ、コナラ、ネズミモチ、シャリンバイ、シラカシおよびアラカシを用いた。コンポスト化前後の試料をそれぞれ30cm×40cmのプラスチック製バットに敷き均し、各供試植物を20粒ずつ播種、室内に静置した。対照区にはパーク堆肥を用いた。散水は試料の乾燥の程度によって適宜おこなった。試験は平成16年12月より開始した。

2) 実験結果

シャリンバイの発芽・生育状況を写真-2に示す。シャリンバイでは、コンポスト化を実施することで対照区とほぼ同等の発芽・生育が可能となった。一方で、本実験結果は植物種間の差異が大きく、例えば養分要求性の低い植物では対照区と比べコンポスト区の方が発芽・生育率が高く、また、本来発芽率が低い植物ではコンポスト区、対照区ともに発芽率



写真-2 シャリンバイの発芽・生育状況
(左：コンポスト化区、右：対照区)

が低い結果もみられた。しかしながら、概してコンポスト化を実施することで、供試植物の発芽・生育は改善する傾向が認められた。

以上の結果から、木質爆砕物はコンポスト化過程を経ることで植物生育が改善されることが示されたことから、木質爆砕物はコンポスト化を施すことによりピートモスの代替物としての園芸資材化が可能となることが分かった。

3.3 草類炭化技術の開発

緑地管理の除草から発生する雑草刈草の中には、収集前の飛散を回避するために、発生場所での自然乾燥（風乾）ができない現場もある。この場合、収集される刈草は生材であることから、それを利用するにしても、それまでの間に大量に堆積貯蔵することは、腐敗進行や乾燥が中途に進んだものでは醗酵が生じて発酵熱火災の可能性もあることから生草は大量貯蔵に向かない性状である。この生の草材を効果的に資源化利用に繋げるためには、一時的に大量発生する生草を生物学的に短期間に安定化させる必要がある。さらに、その安定化されたものが直ちに利用できる形態であれば最も望ましい資源化技術である。

本研究では生草の望ましい資源化技術は炭化にあると考えている。発生、生産される地域の地勢条件により、得られる炭化物は有用な資材として農地利用初め燃料利用、発電利用、工業利用など様々な利用形態が考えられることから、用途を特別に開発、追究する必要がない。ここで重要なことは、これまでに困難視されてきた草材の炭化、中でも大量炭化技術を開発することである。このために、草材の大

量炭化を目指した基礎的な実験を行った。

3.3.1 実験方法

実験は、幅 500 mm×高さ 1,200 mm×長さ 1,200 mm の容積を有する熱風炉に、内径 400 mm×高さ 400 mm の 50 L 容のステンレス容器内に試料を密封してセットし、間接加熱方式による炭化の実験を行った。熱風には灯油バーナーを用い、炉内空間温度を制御する方式を取った。試料には所内雑草管理から発生した除草干草（含水率：8.3 %）と、つくば市内で発生したモミガラ（含水率：9.2 %）と街路樹管理発生材をチップ化して更に摩砕したもの（含水率：25.1 %）を用いた。干草は 50 L 容器に揺るく 0.4 kg の重量を詰めるケースと密に 1.75 kg の重量を詰めるケースを設定した。実験外観を写真-3 に示す。

これら 4 種類の試料の炭化は、表-3 に示す炭化条件で全 56 ケース行った。表中の炭化時間で「容器中心到達まで」とあるのは容器中心部の温度が設定温度に到達するまでの時間を意味している。炭化の排ガスラインは間接水冷により排出液を回収するとともに、排ガスコンポジット試料の成分分析を行った。また、炭化物は元素分析の他に、炭化試料に水を重量比 1:10 で加え攪拌(120 rpm - 1 hr(20℃))した水抽出液の分析も行った。

3.3.2 研究結果

1) 観察

得られた炭化物は、含水率が低かった干草やモミガラのケースは、低温-短時間の処理でも良好に黒色に呈色し、さらに炭化時間が増す毎に形状保持強度（パリパリ感）が増し手揉みにより容易に（心地よくサクサクと）崩れ易くなった。同じ干草の間では密詰めの場合では中心部まで均一に黒色を呈するまでに熱伝導の関係から揺る詰めの場合よりも時間を要した。摩砕木質のケースでは、他のケースよりも更に時間を要し、その原因は含有水分の排除に多くを要することにあった。

2) 排ガス

炭化の過程で排ガス中から回収された液量の結果を図-8 に示す。炭化温度や炭化時間と排出液量の間には有意な関係は見出せず、本実験に用いた試料性状では 200~400 mL/kg-原料の範囲にあった。なお、一般的な傾向として高温条件で炭化するほどに排出液中にタール状質が多く含まれるようになった。

排ガス成分の分析からは可燃性ガスとして水素や

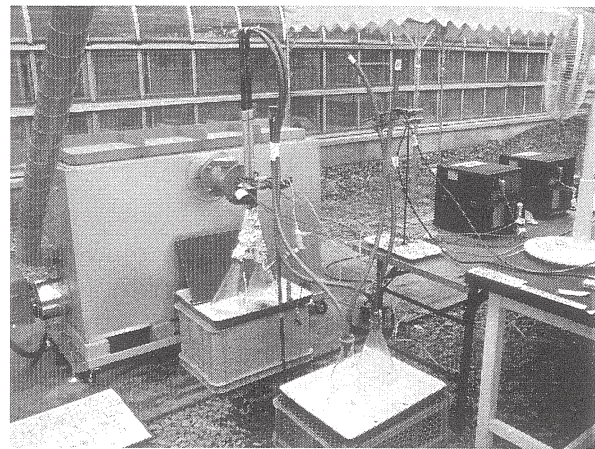


写真-3 炭化実験装置の外観

表-3 炭化実験条件

原料	炭化条件 [温度]×[時間]
干草・揺詰め 干草・密詰め	[300℃] × [1hr, 2hr, 3hr, 4hr]
	[350℃] × [1hr, 2hr, 3hr, 4hr]
	[400℃] × [0.5hr, 1hr, 2hr, 3hr]
	[450℃] × [0.5hr, 1hr, 2hr, 3hr]
モミガラ 摩砕木質	[300℃] × [2hr, 4hr, 容器中心到達まで]
	[350℃] × [2hr, 4hr, 容器中心到達まで]
	[400℃] × [2hr, 4hr, 容器中心到達まで]
	[450℃] × [2hr, 4hr, 容器中心到達まで]

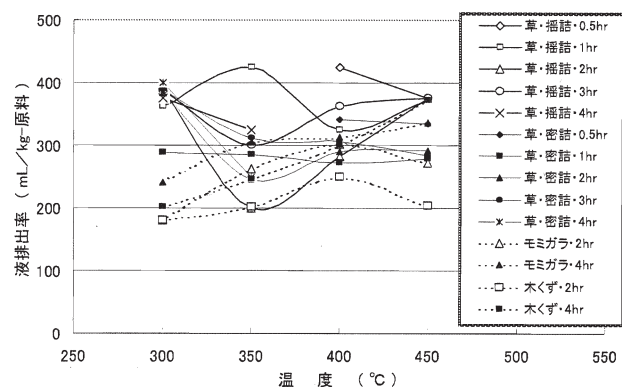


図-8 排ガスから回収された液量の分布

一酸化炭素、メタンが検出された。エタンやプロパンは検出されなかった。水素とメタンの発生は少ないものであったが、一酸化炭素は比較的高濃度に検出された。また、メタンについては摩砕木質を高温炭化したケースで高濃度化する傾向にあった。

3) 炭化物

炭化前後の固形物量変化から固形物の残存率を求めて図-9 に示した。炭化温度と固形物残存率の関係には原料毎に異なる明瞭な関係が現れた。本研究目的は草材の炭化を資源量回収技術と位置付けることから、固形物残存率は高いほど良い。残存率=1

は炭化していない状態に近いと言え、炭化の進行があったことを認めるためには、幾分かの固形物減少が生じている必要がある。前 1) 項での観察結果をも考慮すると、モミガラ炭化のケースが参考となり、固形物残存率を 0.8 以上、可能ならば 0.9 前後を草材の炭化技術開発の目標に置くのが妥当と思われる。これに基づくと、干草原料のケースは、実験した 300℃よりも更に低い炭化温度が実用的との傾向を示しており、炭化時間そのものも低い炭化温度のもとで、1 時間以内の短時間炭化が可能となる可能性が高い。

炭化物の水抽出液の分析からは、pH は干草系では 9.1~10.9 と平均的であるのに対して、モミガラと摩砕木質の系では高温炭化となるほどにそれぞれ 4.1~10.9、4.3~10.5 と上昇する傾向を示した。電気伝導度は炭化条件により大きく変わらず、干草系:1.4~2.4 mS/cm、モミガラ系:0.37~0.82 mS/cm、摩砕木質系:0.31~0.93 mS/cm であった。TOC と Mg^{2+} 、 Ca^{2+} はいずれの原料でも高温炭化となるほど減少した。 PO_4^{3-} と NH_4^+ および K^+ は高温炭化となるほどに干草系では増加し、逆にモミガラ系と摩砕木質系では減少した。

4. まとめ

本研究では、全国のダムからの流木発生量を把握するためのアンケート調査、木質爆砕物の法面緑化資材への適用試験、木質爆砕物を園芸資材として利用するためにコンポスト化実験および草類を対象とした炭化実験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 台風が上陸最多記録を更新した平成 16 年における全国のダム流木発生量を調査したところ、平成 15 年までの平年と比較してより多くの流木が発生していた。さらに過去の流木の大量発生も台風や梅雨前線等により起こる地域的、年次的な特異現象と認められた。
- 2) 過去の流木発生量からは、毎年コンスタントに比較的多くの発生があるダムも存在した。これらは流域の地勢や植生の管理に影響される土壌流亡による倒・流木発生にあると思われた。
- 3) 流木発生量と堆砂量との関係を調べたところ、各ダムで生じていたそれぞれの総量の間には良好な相関関係が認められ、ダム管理における流域の土砂流出対策と流木発生抑制対策は共通しているものである。
- 4) 木質爆砕物を法面緑化資材に適用すると、人為

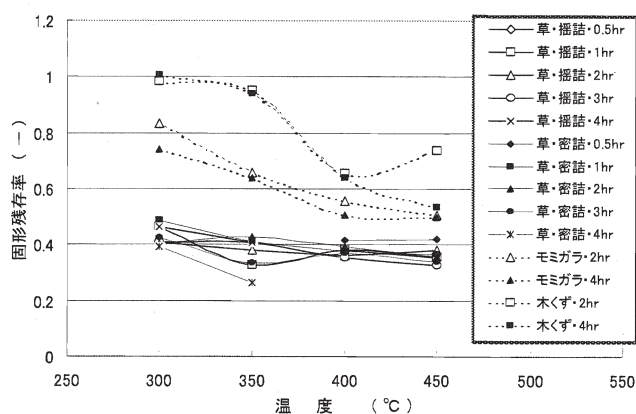


図-9 炭化温度と固形物残存率

的に導入した緑化草本植物の発芽・生育は良好ではなかったが、それらによる土壌表面が被覆されなかったために、その表面空間に周辺環境より自生の草本植物種子の侵入・定着が可能となっていた。また、貧栄養の生育基盤であるために、導入した木本植物の発芽・生育は良好であった。中和資材を一定量添加し、木質爆砕物配合比率が 3~7 割程度であれば周辺環境に調和した緑化が達成できると思われた。

- 5) 発芽・生育阻害物質を生じる木質の爆砕にかんして、その爆砕物にコンポスト化を施した、木本植物の発芽・生育実験をおこなったところ、植物の発芽・生育障害を軽減でき、木質爆砕物はピートモス代替の園芸資材化が可能と思われた。
- 6) 炭化実験からは原料の含水率が低い場合は短時間での炭化が可能であったが、含水率が高い場合は水分排除に時間を要した。また、炭化過程で排出される液量は 200~400 mL/kg-原料の範囲にあった。
- 7) 生草材の炭化による資源回収を目指す場合、炭化物の固形物残存率:0.9 を目標とすることが妥当と思われ、それを達成する炭化温度は実験で実施した 300℃よりも更に低い領域にあり、且つ炭化時間も 1 時間以内が可能となる可能性が示された。

謝辞

本研究では、財団法人ダム水源環境整備センター初め東興建設株式会社、日本植生株式会社、ライト工業株式会社、つくば市、JA つくば市桜支所並びにつくば市内公園緑地管理企業・団体の協力を得た。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人土木研究所：国土技術政策総合研究所資料 土木研究所資料 平成 16 年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.183-188、2005
- 2) 宮本綾子、根本健児、舛田智江、高橋徳、牧孝憲、落修一：草木廃材を用いた吹付緑化資材の開発、土木技術資料、Vol.47、No.2、pp.28-33、2005
- 3) 独立行政法人土木研究所：土木研究所資料 平成 16 年度交流研究員報告書概要版、pp.29-32、2005
- 4) 二見肇彦ら：未分解チップを有効利用した生育基盤材による自然回復手法について、日本緑化工学会誌、29(1)、pp.185-188、2003