

◆ 特集：新しい時代に向けた下水道技術 ◆

草木廃材を用いた吹付緑化資材の開発

宮本綾子* 根本健児** 舛田智江*** 高橋 徳**** 牧 孝憲***** 落 修一*****

1. はじめに

道路・河川・公園等の緑地管理ならびに土地造成・土木工事により大量の草木廃材、伐採材が発生している。廃棄物量の削減という観点からも、発生した地域における有効な資源化利用が求められている。しかしこれらの廃材を利用する手段は限られたものであり、利用用途の拡大のための技術開発が必要とされている。

一方、法面緑化や緑地造成のためには大量の有機質資材が用いられている。特に、法面への吹付資材として一般的に使用されてきたピートモスは、そのほとんどを輸入に頼っている。採掘地では環境に影響を与えていることから、代替となる材料が求められる。

本報告は、当チームで共同研究として実施している木質系の有機質廃材を法面緑化資材として利用するための技術開発について、進捗状況をまとめたものである。

2. 研究概要

吹付資材の開発は、東興建設(株)、日本植生(株)、ライト工業(株)および(独)土木研究所の4者による共同研究により行っている。

土木研究所では以前よりピートモスと類似の物

性を一般の天然資材から得る技術について検討していた。その結果、E.A.Delongにより開発された蒸煮・爆砕法¹⁾により類似の物性が得られる可能性が高いことがわかった。

この方法は、写真-1に示すような爆砕装置を用いて、圧力容器内に密封した材料を水蒸気によって1~3MPaに加圧し、1.5~10分程度保持した後、圧力を瞬時に解放することにより、細胞・繊維質を破壊するものである。本研究では、チップ化し蒸煮・爆砕処理を施した草木廃材を用いた吹付緑化資材の実用化を目指している。

本研究ではまず、爆砕物の吹付資材としての物理的な適合性を確認するために、吹付試験を実施した。その結果、爆砕物の物理的性状は吹付資材としては問題なかったが、混合した種子が発芽しなかった。そのため、粋実験を行い植物種子の発芽・生長に及ぼす資材の配合方法の影響を調査した。それと同時に発芽に関する室内試験を行い、爆砕物中のpHと有機酸(揮発性脂肪酸：VFA)が発芽に与える影響を調査した²⁾。

平成16年3月には土木研究所内の屋外実験ヤードにおいて実用化を前提とした吹付試験を行い、種子の発芽および生長状況について観察を実施しているところである。

3. 研究結果

3.1 吹付試験

爆砕物の吹付資材への適合性を確認するために、平成14年12月ライト工業(株)宇都宮機械センターにて吹付試験を実施した。

木材チップに爆砕処理を施した場合は、樹種・圧力・温度・蒸煮時間等の条件により得られる爆砕物の性状が異なる。吹付資材として使用するためには、施工性を考慮して条件を選定する必要がある。また、爆砕物には肥効成分がほとんど含まれないうえ、pHが低い。このため、緑化基盤材として使用するには肥料成分および改質剤を添加し、植物の生育が可能となるようにしなければならない。

蒸煮条件については、検討の結果、針葉樹については2.5MPa、2.0分、広葉樹については3.0MPa、



写真-1 爆砕装置

表-1 吹付試験における資材の配合 (1m³あたり)

		試験区			
		①	②	③	④
爆砕物 (L)	針葉樹	1,700	-	1,700	-
	広葉樹	-	1,700	-	1,700
改質剤 (kg)	エコスティブラー	17		-	
	炭酸カルシウム	-		3.4	
種子 (g)	トールフェスク	11.6			
	メドハギ	37.1			
緩効性肥料 (kg)	ハイコントロール	5			
接合剤 (kg)	ローンフィックス	-		2	

トールフェスク：イネ科ウシノケグサ属 別名オニウシノケグサ、永年性牧草、暖地・温暖地の草地における基幹的な草種

メドハギ：マメ科ハギ属日本全国の痩せ地に生育する多年生草本

3.0分が最適であることがわかった。また、配合条件については事前にテーブル試験で確認し、表-1のように決定した。

これらの条件に基づいて吹付試験を実施した結果、吐出性は通常の吹付資材と同等であった。

このことから爆砕物を吹付資材として使用することは可能であることが確認された。その一方、吹付資材に配合した種子はほとんど発芽せず、このことが課題として残された。

試験実施後約10ヶ月では、法面には侵食・崩壊がみられず、試験区外から侵入した植物種が繁茂していることがわかった。また、吹付資材は良好な土壌と化しており、多数の微小動物の生息が確認された。

3.2 枠実験

前述のように、爆砕物を使用した吹付資材に混合した植物種子はほとんど発芽しなかった。

このことから、吹付資材の配合と発芽生育特性の関係を明らかにする必要があったため平成15年7月から日本植生(株)総合研究圃場において枠実験

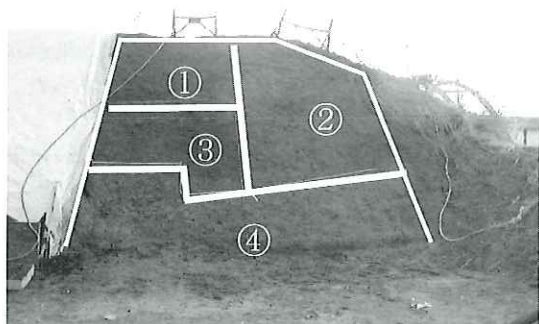


写真-2 吹付け完了後
①～④は表1に示す試験区



写真-3 施工後10ヶ月経過
枠内が写真2での吹付けの範囲

を実施した。

(1) 実験方法

配合資材は表-2に挙げたように5種類、それぞれの因子について3水準である。試料の数が多くなることから、実験は一次因子A×B、2次因子C×D×Eとして直交表を用いて作成した27通りの組み合わせを用い、各試験区ともに3連で作成した。定期的に発芽生育の調査および耐侵食性をみるための降雨試験(100mm/hで1時間)を行った。配合した種子は全ての試験区においてトールフェスクとメドハギで、発芽期待本数はそれぞれ1,000本/m²、500本/m²とした。

平成16年8月に試験を終了した際に地上部の植生を採取し、重量の測定を行った。

(2) 実験結果

全ての試験区において約一週目からメドハギ、約二週目からトールフェスクの発芽が観察されるようになった。発芽率は、トールフェスクに関し

表-2 枠実験における資材の配合 (1m³あたり)

配合資材	A		B
	広葉樹爆砕物 (%)	バーク堆肥 (%)	中和資材 (%)
水準			消石灰
1	30	30	0
2	50	50	5
3	70	70	10

配合資材	C	D	E
	接合剤 (kg)	肥料 (%)	中和資材 (kg)
水準	ローンフィックス	アシストコンボ	消石灰
1	1	5	1
2	2	7	2
3	3	10	3

ただしBの消石灰は爆砕時添加

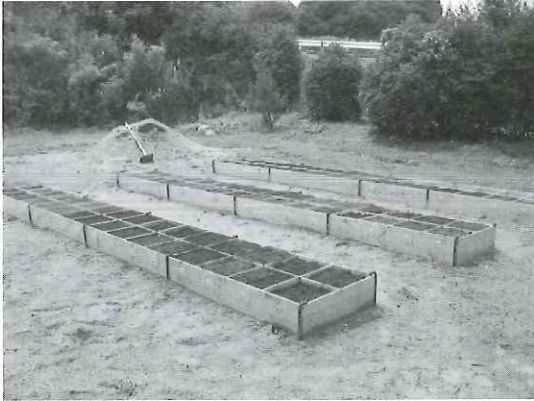


写真-4 砕実験開始時 (平成15年7月)



写真-5 砕実験終了時 (平成16年8月)

てはほぼ設計値に近い値であったが、メドハギは設計値の1/5～1/2であった。また、メドハギについては、爆砕物の混合比率が小さい方が発芽・生育数が多くなる傾向がみられた。

1年経過後の生育状況から、トールフェスクは爆砕物比率が高いと生育が劣る傾向を示したが、炭酸カルシウムを多く添加することで改善することが示された。メドハギに関しても爆砕物比率が高いと生育が劣る傾向が示されたが、混合比率を下げ炭酸カルシウムを多く添加したケースでは良好な生育を示した。

降雨試験において流出土量を調べた結果、爆砕物の混合量が多いものほど流出が少なく、その流出量は、一般的な植生基材吹付工と同等以下であった。

3.3 発芽実験

爆砕物中には多量の有機酸が含まれており³⁾、これが発芽阻害の要因となっていると考え、確認のための室内実験を前述の砕実験と並行して、土木研究所で行った。

実験に用いた種子は、トールフェスク、メドハ

ギ、コマツナ（アブラナ科アブラナ属一年または二年草）の3種である。また、爆砕物は針葉樹と広葉樹をそれぞれ3.0MPa、5分および2.5MPa、3分の条件で蒸煮・爆砕したものを使用した。

なお、これらの試験に先立って爆砕物に直接播種して発芽試験を行ったが、全て発芽しなかった。

3.3.1 爆砕物を用いた発芽実験

(1) 実験方法

爆砕物を用いた2つの発芽試験を行った。実験の手順を以下に示す。

a. 薬品を添加した爆砕物水抽出液の発芽実験

爆砕物200gに、中和剤として炭酸カルシウム、凝集剤としてポリシリカ鉄（PSI-50：水道機工株式会社製）5倍希釈液および塩化第二鉄液を添加し、十分に攪拌混合した。添加剤の組み合わせは、炭酸カルシウムのみ1、2、3、5g添加したもの、また、炭酸カルシウムを1gおよび3gに対してPSI-50あるいは塩化第二鉄を0.5、1.0、3.0mLとしたものの16通りとした。次に混合物20gをそれぞれ分取し、イオン交換水46mLを加えて十分に混合した後30分間静置した。その後ろ過したろ液を、別のろ紙を敷いたシャーレに適量添加したものを培地とした。それぞれの種子を20粒ずつ播き、発芽状況を観察した。

b. 爆砕物水抽出物を用いた発芽実験

爆砕物500gにイオン交換水500mLを加え、攪拌・混合後30分間静置した。それをろ過した後NaOHでpH6.5に調整した。

ろ液をイオン交換水で1倍～10,000倍の間で段階的に希釈したものを培地として用い、前述の方法で発芽試験を行った。

(2) 実験結果

a. 薬品を添加した爆砕物水抽出液の発芽実験

針葉樹爆砕物水抽出物を用いた発芽試験結果の一例を図-1および図-2に示す。トールフェスクでは全ての薬剤で、添加することによって発芽率向上の効果がみられた（図-1）。しかし図-2に示すメドハギおよびコマツナではほとんど効果がみられず、これは広葉樹でも同様の傾向であった。

b. 爆砕物水抽出物を用いた発芽実験

針葉樹爆砕物を用いたメドハギの発芽試験結果の一例を図-3に示す。この結果からも、抽出液が発芽阻害の要因となっていることがわかる。その程度は針葉樹よりも広葉樹で強かった。

3.3.2 VFAを用いた発芽試験

3.3.1 でみられた発芽障害の原因として、低pH、または高濃度で存在するVFAが考えられる。

このために、VFAを用いた発芽生育実験を行った。

(1) 実験方法

酢酸、プロピオン酸、ギ酸、n-酪酸の4種類のVFAを水道水中に0mg/L～2,000mg/Lに溶解し、NaOHおよびHClを用いてpH3.5とpH7.0に調整した水溶液を培地として、前述の方法で発芽生育試験を行った。また種子の有機酸への暴露時間と発芽の関係を見るため、各水溶液中に各種子を一定期間浸漬し、播種前によく水洗して、水道水を培地とした同様の発芽生育試験を行った。

(2) 実験結果

実験結果の一例として酢酸がメドハギの発芽生育に及ぼす影響を図-4に示す。酢酸濃度が高いほど、また、pHが低いほど発芽率が低下し、生育阻害が認められた。

その他の結果も含め、以下のような評価が得られた。

- ・ トールフェスクはメドハギ・コマツナよりVFAの影響を受けにくかった。

- ・ 浸漬時間が長いほど、また、VFA濃度が高いほど発芽・生長阻害が大きくなった。
- ・ 全ての植物に対して、酢酸>プロピオン酸>ギ酸>n-酪酸の順で影響が大きかった。
- ・ pH7と比較して、pH3.5の方がVFAの影響が大きく現れた。

3.4 試験施工

これまでの吹付試験、発芽生育試験の結果に基づき、平成16年3月、土木研究所敷地内の盛土法面において吹付けの試験施工を実施した。本試験は、砕実験の結果により効果があると判断された配合をもとに、爆砕物と炭酸カルシウムの配合比率と植物の生育状況の関係を確認するとともに、爆砕物の緑化資材としての特性を総合的に評価することを目的とした。

(1) 試験方法

表-3の配合で、爆砕物とパーク堆肥、接合剤、添加剤を配合し、トールフェスクおよびメドハギの種子を混合して吹付けを行った。発芽期待本数は、各工区についてトールフェスク1,000本/m²、

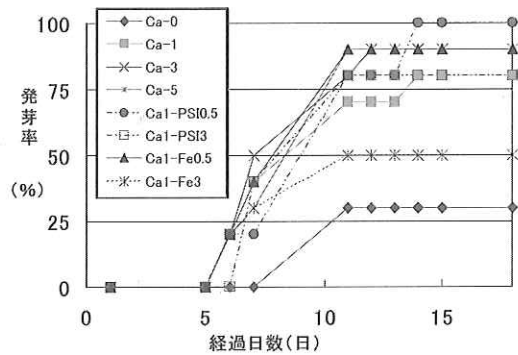


図-1 針葉樹爆砕物水抽出物に薬品を加えたトールフェスクの発芽実験

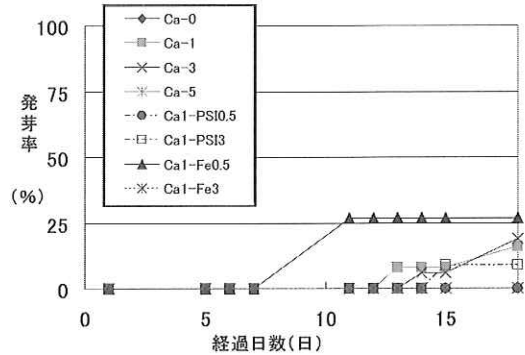


図-2 針葉樹爆砕物水抽出物に薬品を加えたメドハギの発芽実験

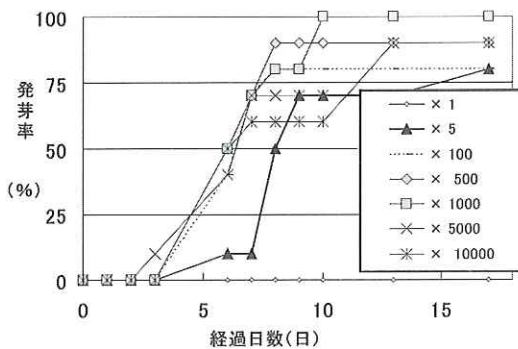


図-3 希釈率の異なる爆砕物水抽出物を用いたメドハギの発芽実験

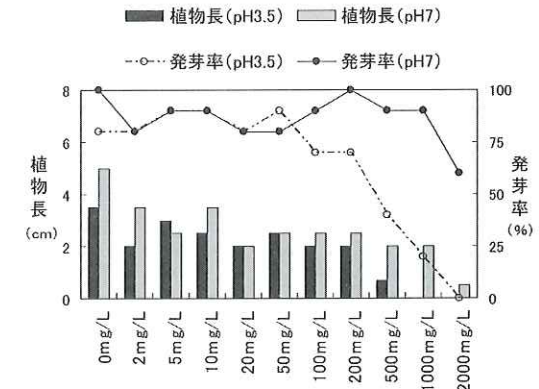


図-4 酢酸を用いたメドハギの発芽実験

メドハギ500本/m²とした。

試験では、地山からの植物の発生を防ぐため、事前に下地として厚さ5cmのソイルセメント吹付けを実施した。

施工1ヶ月後には木本植物を播種および苗木により導入した。播種による導入は、生育基盤の一部を掘取り、使用する種子をそれぞれ5穴ずつ5粒播き、最後にバーク堆肥によって覆土した。導入植物は、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、アラカシの10種を用いた。苗木による導入は、生育基盤の一部を掘取り、使用する木本植物をそれぞれ2本ずつ移植し、最後にバーク堆肥によって覆土した。導入植物は、アキグミ、ヤマハギ、アカメガシワの3種を用いた。

施工後の追跡調査は平成12年日本岩盤緑化工協会植生追跡調査法ハンドブック⁴⁾に基づいて行った。各試験区に1m×1mのコドラートを設置し、コドラート内の出現本数、草高、被度、被覆率などを調査した。また、周辺からの侵入植物の出現調査、苗木の活着状態、生育基盤の状況、土壤硬度などを調査した。

(2) 結果

生育基盤の調査の結果、大きな侵食・流亡は確認されなかった。また、土壤硬度は全ての工区で根系伸長範囲内であり、植物の生育に支障のある物理性ではなかった。

植生調査の結果、厚層基材吹付工区では吹付時に導入したトールフェスクおよびメドハギは、良好な発芽、生育を示した。しかし、その他の工区および対照区では、トールフェスクおよびメドハギの発芽・生育は抑制されていた。全ての試験区

表-3 試験施工における資材の配合 (1m³あたり)

	試験区				対照区	厚層基材吹付工区
	1	2	3	4		
広葉樹 爆砕物 (L)	510	510	850	1,190	粉碎 木材チップ	1,700
バーク堆肥 (L)	1,190	1,190	850	510		
肥料 (L)	170	170	170	170	170	170
接合剤 (g)	850	850	850	850	850	850
中和資材 (g)	850	2,550	850	850		

肥料：アシストコンボ 接合剤：ローンフィックス
添加剤：炭酸カルシウム

において施工後3ヶ月以降より侵入種と見られる植物が観察され始めた。5ヶ月程度経過した時点では生育している植物の多くがメヒシバ等10種程度の侵入種で占められるようになった。導入した木本植物については、苗木によって導入したものは順調な生育が観察された。播種によって導入したものは、ヤマハギおよびコマツナギに順調な生育が観察されたものの、その他の樹種は発芽生育が抑制されていた。これらの結果は砕実験の結果より期待されたものとは異なるが、これは、砕実験は吹付けではなく手作業で締め固めを行っていたこと等の条件の違いによると考えられる。また、時間の経過とともに侵入種の生育が観察されたのは、吹付資材中の有機酸が分解、あるいは降雨により溶脱したため、それらの植物の生育が可能な条件になったと考えられる。

これまでの結果より、爆砕物を用いた法面緑化は一般的な吹付資材と比較して緑化発現に時間を要するが、侵入種の定着によって周辺環境に調和する植生が期待できることが示された。ただし、

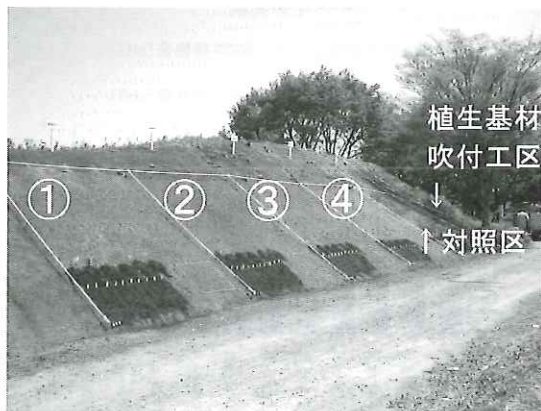


写真-6 施工後1ヶ月
(木本植物の播種および苗木による導入完了)
①～④は表3に示す試験区



写真-7 施工後6ヶ月

現時点では8ヶ月程度しか経過していないため今後の継続的な追跡調査による評価が必要である。

4. 結論

- (1) 爆砕物は法面への吹付資材としての使用には問題のない良好な物理性状であることが確認された。これは、実際の吹付時の歩留まりが高く、吹付面が長期に渡って安定していることから示されているものである。
- (2) 爆砕物中に含まれるVFA、また、pHの低いことが発芽・生育に対する阻害要因となっていることが確認された。しかし、これらは炭酸カルシウム等の中和剤の使用により影響を緩和できるものであった。
- (3) 試験施工の結果から、爆砕物を用いた吹付けでは吹付時に導入した植物の発芽・生育は抑えられたものの、侵入種による緑化が期待できる可能性が高いことがわかった。

5. むすび

現在のところ、試験施工を実施した法面の観察結果からも爆砕物の吹付資材としての適用可能性が示された。

今後はこれまでの試験施工の追跡調査を行うと

ともに、実際の現場における施工を実施して、より精度の高い評価と施工法を目指したいと考えている。

謝辞

本共同研究は以下の方々も従事されており、本稿のとりまとめにご協力いただきました。相川淑紀氏、大内公安氏、光永演允氏、小竹守敏彦氏、長沢英和氏、南山瑞彦氏、鈴木穰氏ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 森川弘道：木材のポップコーン-Explosion法とその産物-，化学と生物，Vol.19, No.5, pp.286-291, 1981
- 2) 鈴木 穰、落 修一、南山瑞彦、宮本綾子、長沢英和：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，土木研究所資料，平成15年度下水道関係調査研究年次報告書集，印刷中
- 3) 落 修一、鈴木 穰、南山瑞彦、越智 崇：木質に蒸煮・爆砕を施すことによる木質と下水汚泥の混合・嫌気性消化法に関する研究，下水道協会誌，Vol.41, No.498, pp.97-107, 平成16年4月
- 4) 日本岩盤緑化工協会：植生追跡調査法ハンドブック，平成12年2月

宮本綾子*



独立行政法人土木研究所材料地盤
研究グループリサイクルチーム研
究補助員
Ayako MIYAMOTO

根本健児**



東興建設株式会社事業本部購買部
Kenji NEMOTO

舩田智江***



日本植生株式会社技術部技術二課
Tomoe MASUDA

高橋 徳****



ライト工業株式会社技術本部法面
技術部環境緑化部
Toku TAKAHASHI

牧 孝憲*****



独立行政法人土木研究所材料地盤
研究グループリサイクルチーム交
流研究員
Takanori MAKI

落 修一*****



独立行政法人土木研究所材料地盤
研究グループリサイクルチーム主
任研究員
Shuichi OCHI