

植物発生材の現地堆肥化と機械式のり面緑化工法

西田徳行¹・松浦誠司²・湊 康裕²・大内公安³

¹正会員 工博 西松建設株式会社 企画技術部（〒105-8401 東京都港区虎ノ門一丁目20-10）

²正会員 工修 西松建設株式会社 技術研究所（〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間2570-4）

³ライト工業株式会社 法面環境技術部（〒102-8236 東京都千代田区九段北4-2-35）

建設廃棄物のうち、特に建設発生木材はリサイクル技術の積極的な利用促進が望まれている。そこで、建設工事で発生する不要木材を場内で粉碎・堆肥化し、のり面緑化工の生育基盤材に活用して現場内ゼロエミッションを実現するとともに、吹付け作業員の高所・苦渋作業改善を目的とした回転式吹付ノズル「シゲル君」で生育基盤材を吹付ける「根をリサイクル工法」を開発した。

本工法では現場内で製造した堆肥化物を使用するため、生育基盤材（パーク堆肥等）を購入する必要がなくなり不要木材の産廃処理費用が削減できる。したがって、直接工事費だけでなく産業廃棄物処理費を考慮したトータルコストが、より一層、経済的となる。

キーワード：リサイクル、植物発生木材、建設発生木材、堆肥化、のり面緑化、機械化

1. はじめに

建設工事などの開発行為にともなって発生する抜根・伐採木や流木、型枠廃材など植物発生材は、従来、野焼きなどにより処分されてきたが、廃棄物処理法の規制強化により廃棄物としての適正処理が必要となった。このため、廃棄物としての発生量低減や処理費削減、焼却作業によるCO₂削減や環境負荷低減を目的とした有効利用が求められている。

「根をリサイクル工法(Neo Recycle Method)」(以下、本工法とする)は、上述した植物発生木材の有効利用を目的に、現地で粉碎・堆肥化作業を約3ヶ月程度で行い、植生基材吹付工の生育基盤材として自然土壌に還元する現場内ゼロエミッションを可能とした。また、バックホウに取付ける回転式吹付ノズルの開発を行い、ノズルマンの高所・苦渋作業を改善して安全性を向上させた。さらに、大口径空気圧送方式による生育基盤材の機械化吹付けにより、吹付効率を従来の人力吹付けの約2倍に向上させた。

本工法により、建設発生木材の現場内ゼロエミッションを実現するとともに、耐侵食性に優れたのり面の安全かつ効率的な施工と産業廃棄物処理費用を含めたトータルコストの大幅な縮減が可能となった。

ここでは、本工法の内容と、型枠廃材の堆肥化利用に関する検討も行っているので合わせて報告する。

2. 植物発生材の堆肥化

植物発生木材とは、既文献¹⁾によると「植栽地の維持管理に伴い発生する剪定枝葉、苧草、刈芝等、および落葉落枝、枯損樹木等をいう」とある。ここでは、これに建設発生木材および流木などを含めて植物発生材という。また、堆肥とは「植物等の有機性廃棄物を堆積発酵させ、土壌改良材等として利用するもの」であり、土壌改良材とは「物理的、化学的性質の不良な植栽地の土壌を改良し、地力を維持増進させて、植物の生育環境を良好に保持するためにほどこされるもの」と定義されている。

本工法は、建設工事等の開発行為にともなって発生する木材を現地で堆肥化後にのり面緑化工に利用するが、堆肥化以外に図-1 に示す利用方法がある。

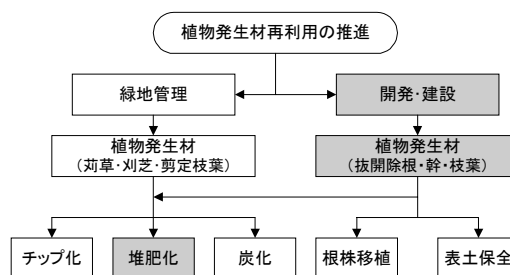


図-1 公共事業における「緑のリサイクル」¹⁾

3. 「根をリサイクル工法」の概要

優しく高能率なのり面緑化工法である。

(1) 「根をリサイクル工法」の特長

本工法の施工フロー(図-2)と特長を以下に示す。

抜根・伐採木など植物発生木材を現場内で粉碎、堆肥化し、のり面緑化の生育基盤材として大量に使用するため、廃棄物の排出量を低減できる。外搬出を伴う従来の処理方法に比較して、運搬に伴う環境負荷が少なくコストも低廉である。従来の現場内堆肥化方法に比較して、堆肥化期間が $1/8 \sim 1/4$ と短いため、堆肥化ヤードの確保や土工工程との調整が容易である。

製造した堆肥化物は、植物反応試験により植物に対する生育障害がないことを確認したものを使用するため、確実に植物を繁殖できる。

吹付け材料の生育基盤材、種子や接合剤を強制2軸ミキサで混合し、これを空気圧送するため、圧密効果により均一で耐侵食性に優れた生育基盤を造成できる。

回転式吹付ノズル「シゲル君」は、ノズルマンのノズル操作を模擬した回転首振り動作により、平滑でムラのない仕上り面を形成できる。

3インチの大口径デリバリーホースの使用により、従来工法に比較して、時間当り吐出量が約2倍と施工能率が高い。

ノズル操作を足場の悪い高所での人力作業に頼る従来工法に比較して、これを機械化した本工法では回避でき、安全性が高く作業環境も良い。

以上より、本工法は現場内の抜根・伐採木を生育基盤材として利用し、機械化施工するため、環境に

(2) 従来工法との比較

本工法と従来工法との比較を表-1に示す。従来工法の植生基材吹付工は、パーク堆肥、ピートモスなどを混合した材料を主成分とする生育基盤材を、モルタル吹付機を用いてノズルマンが吹付けるものである。撒き出し工法は、現場内で発生する抜根・伐採木の粉碎物(生チップ)と現場発生土を半々に混合し、バックホウの特殊アタッチメントである高速ベルコンからのり面に撒き出すものである。

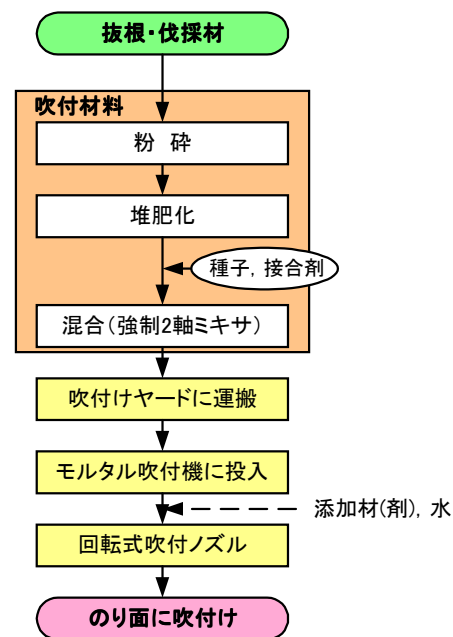


図-2 「根をリサイクル工法」の施工フロー

表-1 従来工法との比較

工法名	根をリサイクル工法	撒き出し工法	植生基材吹付工
施工概略	植生基盤材+添加材 (堆肥化チップ・現場発生土・種子・接合剤) ミキサ → 吹付けガン		
工法概要	建設発生木材を場内で堆肥化した生育基盤材(チップサイズ 3cm程度)を、モルタル吹付機と回転式吹付ノズル(汎用バックホウに装着)により、法面に吹付ける。	抜根、伐採材の生チップ(15cm程度)と黒土あるいは肥料を混合した現場発生土を、高速ベルコン(バックホウ専用機)により、法面に撒き出す。	パーク堆肥などの生育基盤材をモルタル吹付機により、ノズルマンが法面に吹付ける。
木材使用量	◎	○	—
施工能力	◎	◎	○
耐侵食性	◎	○	◎
コスト比	安い	やや安い	普通

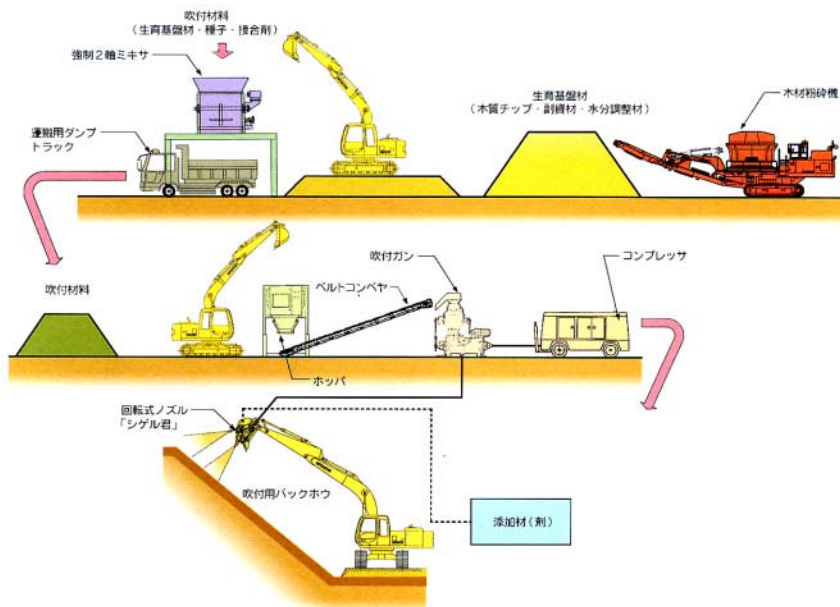


図-3 根をリサイクル工法の施工概要



写真-1 二次粉砕



写真-2 仕込み(散水)

現場内の抜根・伐採木を有効利用することに関しては、撒き出し工法も同様である。しかしながら、本工法は、生チップを堆肥化した後に生育基盤材の主材（ほぼ100%）として堆肥化物を使用するため、生育基盤材の50%程度を生チップとして用いる撒き出し工法の約5倍の木材を処理できる。したがって、発生木材量が多い場合は、廃棄物処理費を含めたトータルコストを大幅に縮減できる。

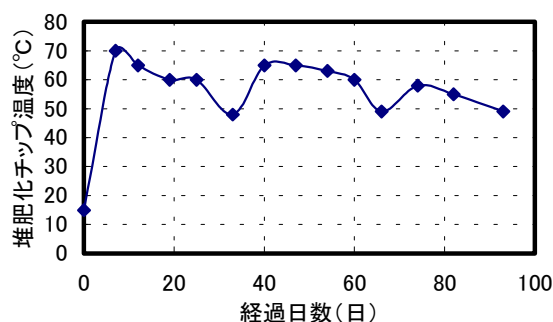


図-4 堆肥化チップの温度履歴例

4. 施工方法

施工概要を図-3に示し、主な項目を解説する。

(1) 粉砕

本工法では現場内に設けた堆肥ヤードに木材を集積し、木材の粉砕および堆肥化を行う。木材の粉砕は木質系粉砕処理機を用い、一次粉砕では4×6インチ程度のスクリーンを通過させ、二次粉砕では1×1インチ程度を通過させる。二次粉砕時のチップ寸法は、堆肥化が容易で、圧送時のホース(径75mm)閉塞が少ないサイズを実験により決定した²⁾。二次粉砕状況を写真-1に示す。

粉砕によるかさ容積の減容率は、木材の種類や状態によって異なるが、粉砕前(野積み)と比較して一次粉砕時は抜根材で50%、伐採材で90%程度、二次粉砕では一次粉砕後の60%程度のかさ容積となる。

(2) 堆肥化

a) 堆肥化方法

堆肥化は、チップ材を効率的に発酵させるために副資材を添加し、混合しながら水を加えて水分を調整する(写真-2)。チップ材は発酵により内部温度が上昇し、一週間程で60～70℃程度になる。チップ材の温度が80℃以上になると発火等の危険があるため、堆積の高さを2.5m以下にして温度上昇を抑える必要がある。堆肥化チップの温度履歴例を図-4に示す。

堆肥化物の品質状態の管理は、基本的に1日1回の堆肥化チップの温度測定と、月1回の切返し時の水分調整で行う。約3ヶ月で植生基材吹付工で使用するパーク堆肥と同程度の品質が得られる。

b) 発酵状態の判定方法

堆肥化過程にあるチップ材の発酵状態を判定する方法は、人間の感覚による方法(色、香り、手触り)、植物の反応を利用する方法(発芽試験、花粉管成長試験等)、化学分析による方法(pH、EC等)がある。堆肥化過程での発酵状態の推移例を表-2に示す。

表-2 発酵の推移例

項目 経過	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	コマツナ 発芽率(%)	花粉管成 長率(%)
開始時	6.4	0.12	96	19
1ヶ月	7.2	0.98	85	15
2ヶ月	7.5	0.37	92	47
3ヶ月	7.5	0.28	100	118

< 熟度判定値 >

化学分析による方法：

pH[4.5～8.0]，EC(電気伝導度)[3以下]

植物の反応による評価：

コマツナ発芽率[95%以上]，花粉管成長率[60%以上]

c) 堆肥化の有効性

生材を堆肥化する理由を，以下に示す．

植物の発芽・生育の促進

生材に含まれ，植物の発芽・生育障害の原因となる精油やフェノール分が堆肥化により分解される．

現場発生木材の大量処理

堆肥化にともなう減容化により，現場発生木材の大量処分が可能となる．

(3) 吹付け

a) 材料の配合

吹付け材料の配合例を表-3に示す．基本的に現地発生土等の土砂を用いないが，砂質土であればかさ容積で多少混入することも可能である．

生育基盤材は，吹付けによりのり面に定着する際，圧密のため60～70%程度の容積減少が生ずる．表-3は，圧密量を考慮して吹付け後1m³当たりの生育基盤材の数量が1.7m³とした例である．圧密量は現地で製造した堆肥化物の状態によって多少異なるため，圧密試験を行い，堆肥化物の配合量を決定する．接合剤は，降雨・乾燥などに対する耐侵食性を高めるために用いる．また，吹付け時にはノズル先端部で水を混入して圧密効果の高い耐侵食性に優れた生育基盤をのり面に造成する．

種子の種類および播種量は，のり面の施工目的や，木本群落や草本群落などの復元目標，施工場所の気候，施工時期等を十分に考慮して選定する．

b) 材料の計量および混合

吹付け材料(堆肥化物，接合剤，種子等)を均一に混合するため，専用の強制2軸ミキサを使用する(写真-3)．1バッチ当たりの混合量は1.0～1.5m³を標準とし，ミキサに投入する堆肥化物の計量は，バックホウのバケットによる容積計量で行う．その他の材料は，それぞれ1バッチ当たりの必要量を準備してミキサに投入する．すべての材料は攪拌しながら投入した後，30秒間混合してミキサ下に待機したダン

表-3 吹付け材料配合例(吹付け後1m³)

品 目	成 分	数 量
生育基盤材	堆肥化物	1.7m ³
接合剤	高分子系樹脂	1kg
種子		1式
水		1式



写真-3 2軸ミキサによる混合



写真-4 回転式吹付ノズル「シゲル君」



写真-5 のり面への吹付け

ブトラック等の荷台に排出し、吹付けヤードへ運搬する。強制2軸ミキサの混合により、均質かつ接合効果の大きな生育基盤材となる。

c) 回転式吹付ノズル

吹付けヤードへ運搬した材料は、図-3に示すようにホッパーを経て、ベルトコンベアから吹付けガンに投入される。吹付け材料は、吹付けガンから圧送ホースを経て回転式吹付ノズル「シゲル君」(写真-4)から、のり面に吹付けられる。

本工法は1:0.5より緩斜面を対象としており、標準吹付厚さは5cmである。デリバリーホースは、従来の植生基材吹付工に用いられる外径2インチ管よりも大きな外径3インチ管であるため、吐出量は従来の2倍以上を確保できる。吹付状況を写真-5に示す。

回転式吹付ノズルは、バックホウのバケットに取り付けて使用する。ノズルマンのノズル操作を模擬した筒先の回転首振り運動により、連続した円の軌跡を描きながら材料をのり面に吹付けるため、大容量の吹付けにも関わらず平滑でムラの少ない仕上がり面が得られる。重量は150kg程度であり、0.25～1.2m³程度のバケットにクランプによって簡易に取り付けることができる。また、圧送ホースは容易にバックホウのブームとアームに取り付けられるため、土工事用の汎用バックホウを転用することが可能であり、吹付け専用のバックホウを必要としない。

5. 耐侵食性試験

降雨に対する耐侵食性を検討するため、施工現場の実機にて吹付試験体(写真-6)を作製し、宮崎大学に依頼して耐侵食性試験を行った³⁾。

試験体は、本工法と撒き出し工法の2種類を作製した。耐侵食性試験は図-5に示す降雨装置を用いて100mm/h(落下高4m)の降雨を60分間供試体表面に曝し、10分毎に表面からの流失量を測定した。



写真-6 耐侵食性試験状況

(左：撒き出し工法，右：根をリサイクル工法)

試験は同一の試験体に対して、吹付け後3日、1週間および1ヶ月の計3回行った。試験結果を図-6に示す。流出量の最も多い材齢3日においても乾燥流出量は7g/m²程度と非常に少なく、撒き出し工法と比較すると10分の1以下の流失量となった。

6. コスト比較⁴⁾

本工法は、現場内で発生不要木材を生育基盤材として利用するため、バクー堆肥の購入が基本的になく、不要木材の産業廃棄物処理費用も削減できる。よって、トータルコストでは一層、経済的になる。

従来工法とのコスト比較例を表-4に示す。伐採面積は10,000m²とし、のり面緑化面積が3,000m²の造成工事現場を仮定した。抜根材発生量、伐採材発生量を、それぞれ0.05m³/m²、0.10m³/m²とすると発生不要木材量は1,500m³となる。このときの必要木材量は吹付け面積、粉砕・堆肥化、吹付け時の圧密にともなう減容率、吹付けロスおよび材料配合を換算して計算した。ただし、従来の植生基材吹付工では、生育基盤材はバクー堆肥を購入して使用するため、発生木材は産業廃棄物処理するとした。

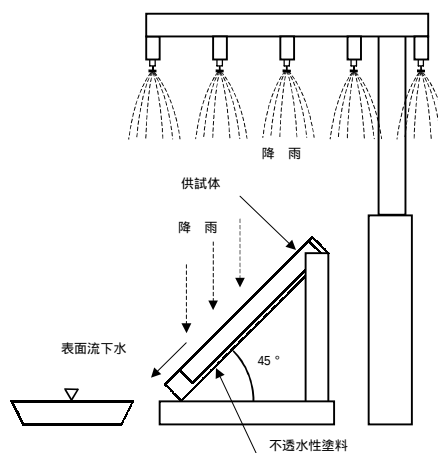


図-5 耐侵食性試験概要図

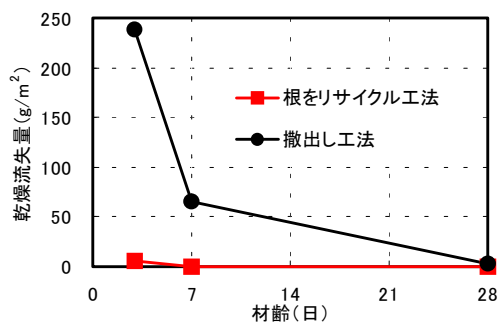


図-6 耐侵食性試験結果

表-4 コスト比較

項 目	根をリサイクル工法	撒き出し工法	植生基材吹付工
必要木材量(m ³)	970	200	—
産業廃棄物量(m ³)	1,500-970=530	1,500-200=1,300	1,500
①産業廃棄物処理費(万円)	530×0.8**=424	1,300×0.8**=1,040	1,500×0.8**=1,200
②直接工事費(万円)	3,000×0.45*=1,350	3,000×0.49*=1,470	3,000×0.58*=1,740
合 計(①+②)	1,774 万円	2,510 万円	2,940 万円

仮定条件

伐採面積 : 10,000m² (発生木材量 1,500m³)
 抜根材数量 : 10,000m² × 5% = 500m³
 伐採材数量 : 10,000m² × 10% = 1,000m³
 吹付け面積 : 3,000m²

* : 「積算資料」(Plaza2002.1)

** : 産業廃棄物処理費は 8,000 円/m³ 仮定

発生木材量と使用木材量の差が産業廃棄物として処理する量である。廃棄物処理費と直接工事費の合計額では本工法が1,834万円に対し、撒き出し工法は2,480万円、植生基材吹付工は2,700万円となる。

以上より、この仮定条件では従来工法の4割程度、撒き出し工法の3割程度のコスト縮減が可能となる。

表-5 有害成分含有量の検査項目

項 目	基準値
カドミウム	5mg/kg
ニッケル	300mg/kg
砒素	50mg/kg
水銀	2mg/kg
鉛	100mg/kg
クロム	500mg/kg

8. 型枠廃材の堆肥化

(1) 試験概要

型枠廃材は、表面の塗装、合板の接着剤および剥離剤の含浸等により、パルプ材として引取り手がなく廃棄物として処理されることが多い。しかし、大規模コンクリート工事現場では型枠廃材が大量に発生するため、その処理が問題となっている。そこで、本工法により型枠廃材を堆肥化する検討を行った。

型枠廃材は協力会社から 150m³ 調達し、中間処理業者である堆肥工場に搬入・粉碎した。堆肥化の発酵副資材は基本的に本工法と同じものを使用した。

型枠廃材に付着した剥離剤や廃油は堆肥化物に悪影響を及ぼす恐れがあるため、最終的に肥料取締法の有害成分の最大量を基準値とした(表-5 参照)。

(2) 試験結果

堆肥化は平成 13 年 10 月末に開始したが、3 ヶ月では十分な発酵が得られなかったため、期間を延長して継続中である。堆肥化が遅い理由は、型枠廃材の接着剤、塗装あるいは剥離剤の影響により、粉碎チップの吸水性が低く、発酵微生物の活動が不十分であったためと考えられる。

なお、堆肥化開始後 2 ヶ月時に行った堆肥化物の溶出試験(27 種の重金属含有量)は、環境庁の土壤環境基準を満足している。図-6 に温度履歴を示す。

今後は、6 ヶ月後を目標に堆肥化を継続し、その後、試験施工と植生調査を実施する予定である。

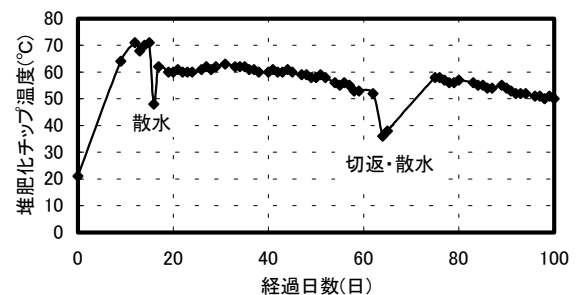


図-6 型枠廃材堆肥化の温度履歴

9. まとめ

本工法の適用により、現場発生木材の現場内ゼロエミッションが可能になるばかりでなく、吹付け作業の効率化と産業廃棄物処分費の低減により総コストの縮減が可能となった。

型枠廃材は、試験中であるが、堆肥化期間を長くすることで生育基盤材として利用可能と考える。

参考文献

- 建設省監修：植物発生材堆肥化の手引き，(社)道路緑化保全協会，平成10年6月。
- 西田徳行，他：堆肥化した現場発生木材を用いた機械化吹付け工法の開発，土木学会第55回年次学術講演会概要集，2000。
- 瀬崎満弘：根をリサイクル工法に関する性能確認試験報告書（宮崎大学 依頼試験），2000。
- 西田徳行，松浦誠司：建設発生木材を利用した機械式のり面緑化，電力土木，No.296，pp.91-94，2001.11。