

西松式のり面緑化工法「根をリサイクル工法」の開発 Development of Slope Planting Method“Neo Recycle Method”

松浦 誠司* 西田 徳行**
Seiji Matsuura Noriyuki Nishida
江越 敬二*** 桑原 弘***
Keiji Egoshi Hiroshi Kuwabara
年見 剛輔****
Gosuke Toshimi

要 約

土地造成にともない発生する抜根、伐採材等、不用な現場発生木材は、近年の法規制により野焼きによる処分が禁止され、リサイクル法による指定副産物として有効利用の促進が強く求められている。そこで、現場発生木材を現場内でチップ化、堆肥化し、のり面緑化工の生育基盤材として利用し、吹付け作業の機械化施工を行う『根をリサイクル工法(Neo Recycle Method)』を開発した。

『根をリサイクル工法』により、耐侵食性に優れた平滑なのり面を安全かつ効率的に施工することができ、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、産廃処理費用も含めたトータルコストの縮減が可能となった。

目次

- § 1. はじめに
- § 2. 『根をリサイクル工法』の特長
- § 3. 施工方法
- § 4. 耐侵食性試験
- § 5. 植生状況
- § 6. コスト比較
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

ダムや造成などの建設工事にともなって発生する抜根、伐採材、あるいは流木などは、従来、野焼きなどの方法により処分されてきたが、最近の法規制により野焼きが禁止された。しかし、これら建設発生木材を産業廃棄物として処分すると多額の処理費用を要する。また、建設発生木材は「再生資源の利用の促進に関する法律(リサイクル法)」により指定副産物とされ、一層の利用促進が求められている。このため、建設発生木材をのり面緑化工の生育基盤材として積極的に活用することによる

現場内ゼロエミッションの実現と、機械化による施工の効率化をめざし、『根をリサイクル工法(Neo Recycle Method)』を開発したので報告する。

§ 2. 『根をリサイクル工法』の特長

『根をリサイクル工法』は、従来工法である有機系厚層基材吹付け工をベースとして、建設発生木材の再利用と吹付けの機械化施工を組み合わせた新しい工法である。本工法の特長は以下の通りである。

(1) 現場発生木材の現場内での利用

発生した不用木材を、現場内において粉碎および堆肥化を行い、生育基盤材としてのり面緑化工に自ら利用するゼロエミッション工法である。

(2) 機械化施工による安全性と施工能力の向上

従来、人力作業で行われていたのり面への吹付けを、バックホウに装着した回転式ノズルを用いて施工することにより、ノズルマンによる高所危険作業を解消し、高い施工能力を確保した。

§ 3. 施工方法

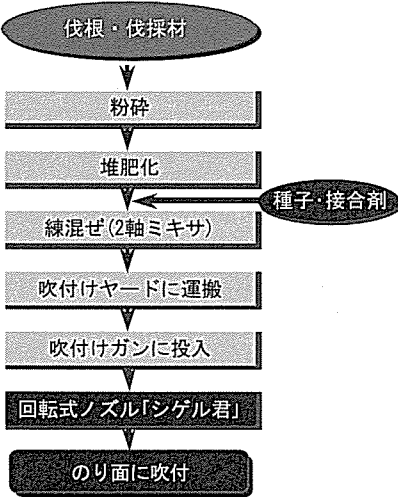
図-1に施工フロー、図-2に工法概要を示す。

* 技術研究所技術研究部土木技術研究課

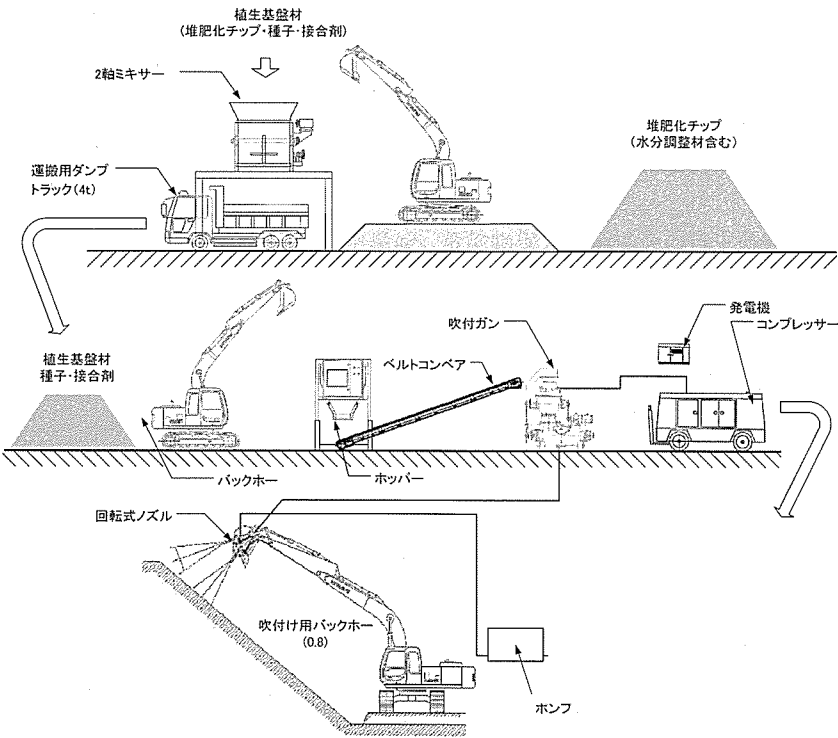
** 企画技術部企画技術課

*** 九州(支)九電高城(出)

**** 技術研究所技術研究部機電技術研究課



図ー1 施工フロー



図ー2 工法概要

3ー1 粉砕

『根をリサイクル工法』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10×15cm（4×6インチ）のスクリーンを通過する寸法とし、二次粉砕では2.5×2.5cm（1×1インチ）を通過する大きさまで粉砕する。二次粉砕時のチップの寸法は、容易に堆肥化でき、かつ圧送ホース（径75mm）な寸法を実験により決定した。二次粉砕状況を写真ー1に示す。

粉砕にともなうかさ容積の減容率は木材の種類および状態によって異なるが、粉砕前と比較して一次粉砕により抜根材で50％、伐採材で90％程度のかさ容積となり、二次粉砕では一次粉砕後に対して60％程度のかさ容積となる。



写真ー1 二次粉砕

3ー2 堆肥化

(1)堆肥化方法

堆肥化するにあたり、チップ材を効率的に発酵させるために、副資材を添加し、さらに水を加えて水分を調整し、よく混合する（写真ー2）。使用材料の配合例を表ー1に示す。副資材のうち微生物補給材は下水処理場の沈砂汚泥の乾燥粉体であり、発酵助剤は小麦製粉の工程で取り出されたふすまである。また、発酵促進剤はふすまおよびふすまの発酵品に消石灰と土壤腐食を添加し、混合、ペレット化したものである。（なお、通常配合よりも発酵を促進させたいときには、発酵助剤の量を増やし発酵促進剤を使用した促進配合とすることも可能である。）

堆肥化開始後、発酵の均一化と酸素の供給を目的とした切返しおよび散水による水分調整を月1回程度行う（写

表ー1 副資材の基本配合例		
内 容	基本配合	促進配合
微生物補給材	60kg	60kg
発酵助剤	10kg	20kg
発酵促進剤	—	8kg

(堆肥化前チップ1 m³当たり)

真-3)。

チップ材は発酵にともない、内部温度が上昇し、通常最高温度が60～70℃程度になる。しかし、チップ材の温度が80℃以上に上昇すると発火等の危険があるため、チップ材は2.5m以上の高さに堆積しないようにし、温度上昇を抑えるような配慮が必要となる。チップ材の温度履歴の例を図-3に示す。

堆肥化チップの品質状態の管理としては、基本的に1日1回の材料温度測定と、月1回の切返し時の水分調整を行う。通常3ヶ月で有機質系厚層基材吹付け工で使用されるパーク堆肥と同等の品質が得られる。

(2)発酵状態の判定方法

堆肥化過程におけるチップ材の発酵状態は以下の方法で確認する。

1) 人間の感覚による方法

色、香り、手触りなどから経験的に判断する方法

2) 生物の反応を利用する方法

発芽試験：堆肥の抽出液に直接コマツナ等の種子をまいて発芽状況を観察する方法

花粉管生長試験：植物の根毛と花粉管に類似性があることに着目した方法

3) 化学分析による方法

pH試験：堆肥化の終期には、アンモニアが硝酸に変化し、pHが低下することを利用する方法

電気伝導度 (EC)：堆肥化が始まるとECは増大し、終期には低下することを利用する方法

堆肥化過程での発酵状態の推移の例を表-2に示す。

(3)堆肥化の有効性

堆肥化の有効性としては以下の項目が挙げられる。

1) 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フェノール分が堆肥化により解消する。

2) 化学肥料使用量の減少

堆肥化したチップは十分な養分を持つため、化学肥料の使用量を少なくできる

3) 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

3-3 吹付け

(1)材料の配合

吹付け材料の配合例を表-3に示す。生育基盤材には基本的には現地発生土等の土砂を用いないが、砂質土でなければかさ容積で2割程度使用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、圧密により吹付け前の60～70%程度まで容積が減少する。表-3において、吹付け後1m³についての生育基盤材の数量が1.6m³となっているのは圧密量を考慮しているためである。接合剤は、堆肥化チップ相互の結合力を持たせ、降雨に対する耐侵食性を高めるために用いる。



写真-2 仕込み（散水）



写真-3 切返し

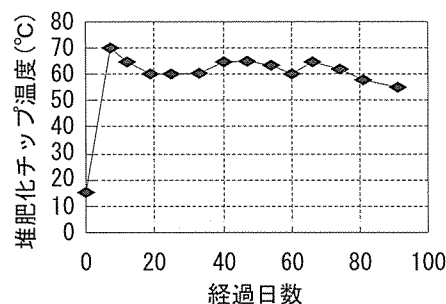


図-3 堆肥化チップの温度履歴

表-2 発酵状態の推移例

項目 経過	pH	EC (mS cm)	コマツナ 発芽率(%)	花粉管 生長率(%)
開始時	6.4	0.12	96	19
1ヶ月	7.2	0.98	82	15
2ヶ月	7.5	0.37	92	47
3ヶ月	7.5	0.28	100	118

化学分析による評価：pH[6.5～7.5], EC(電気伝導度) [0.1～0.3]

生物の反応による評価：コマツナ発芽率[80%以上], 花粉管生長率[80%以上]

表－3 材料配合例（吹付け後 1 m³）

品 目	成 分	数 量
植生基盤材	堆肥化チップ	1.6m ³
接合剤	ポリアクリルアミド	1 kg
種子		1 式
水		1 式

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。表－4に施工時期3月～6月の種子配合例を示す。

吹付け材料に適度な水分を与え、密実な吹付け面を形成するため、吹付け時にノズル先端部で適量の水を混入する。

(2)材料の計量および混合

吹付け材料（堆肥化チップ、接合剤、種子など）を均一に混合するため、専用の強制2軸式バッチミキサを使用する（写真－4）。1バッチ当たりの混合量は、1.0～1.5 m³を標準とし、ミキサに投入する堆肥化チップの計量は、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あらかじめ用意しておき、ミキサに投入する。攪拌しながらすべての材料を投入し、その後30秒間混合攪拌してからミキサ下に待機したダンプ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軸ミキサによる混合により、均質かつ接合効果の大きな生育基盤材が得られる。

(3)回転式ノズル『シゲル君』による吹付け

吹付けヤードへ運搬された材料は、振動スクリーンを装備したホッパーにおいて混入した礫やサイズの大きいチップを取り除き、ベルトコンベアにより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通して回転式ノズル『シゲル君』（写真－5）により、のり面に吹き付ける。本工法では1：0.7より緩い斜面を対象としており、吹付け厚さは5cmを標準とする。

『根をリサイクル工法』で用いる圧送ホースは、従来の厚層基材吹付け工法に用いられる内径50mm（2インチ）管よりも大きな内径75mm（3インチ）の管を用いるため、吹付け材料の吐出量は従来工法の3倍以上を確保できる。吹付け状況を写真－6に示す。

回転式ノズル『シゲル君』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。また、『シゲル君』は小型で重量も約150kgと軽量であり、バケットの大きさに関係なくクランプにより簡易に取り付けることができる。『シゲル君』の制御盤をバックホウの操縦室内に取り付け、圧送ホースを配管するだけで吹付けが可能となるため、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、吹付け専用のバツ

表－4 種子配合例

	植物名	発生期待本数 (本 m ²)	播種量 (g m ²)
主 構 成 種	ネズミモチ	4	4.33
	ヤブツバキ	0.5	6.77
補 全 種	ヤマハギ	50	2.08
	コマツナギ	50	1.43
草 本 種	クリーピングレッドフェスク	50	0.12
	トールフェスク	50	0.34
	メドハギ	100	0.45
	計	—	15.52



写真－4 2軸ミキサによる混合



写真－5 回転式ノズル『シゲル君』



写真-6 のり面への吹付け

クホウを必要としない。バックホウへの取付状況を写真-7に示す。

§ 4. 耐侵食性試験

降雨に対する耐侵食性について検討するため、実施工と同様の方法で型枠内に吹付けた試験体(写真-8)を作製し、耐侵食性試験を行った²⁾。試験体の作製は『根をリサイクル工法』と、比較のため従来工法の撒き出し工法(生チップと現場発生土を主成分とする生育基盤材をバックホウに取り付けた高速ベルコンで撒き出して施工する工法)の2種類で行った。耐侵食性試験は、図-4に示すような降雨装置を用いて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(乾燥土量)を測定した。試験は同一の試験体に対して、吹き付け後、3日、1週間および1ヶ月の計3回行った。結果を図-5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、従来の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。

§ 5. 植生状況

『根をリサイクル工法』と、その他5種類の工法について、その植生効果についての比較を行うための試験施工を行った。比較試験の結果を表-5に示す。6工法のうち、間伐材植生マット工法以外の播種量は同じである。

6工法のうち、無機系客土吹付工法およびチップ混入客土吹付け工法以外の工法では被覆率が100%とならなかった。これは、無機系客土吹付工法においてはセメント系固化材のアルカリ分の影響、チップ混入客土吹付け工法においては、生チップの発酵による窒素飢餓の影響が考えられる。被覆率が100%となった4工法のうち、撒き出し工法は強害雑草に覆われ、導入種子の発芽生育が阻害される傾向がみられた。

以上の結果から、『根をリサイクル工法』は植生においても従来工法と同等以上の効果が期待できるものと思われる。



写真-7 『シゲル君』の取付状況

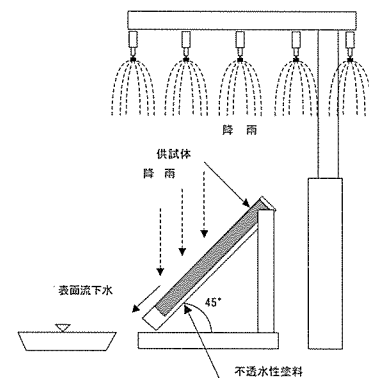
写真-8 耐侵食性試験状況
(左: 撒き出し工法, 右: 根をリサイクル工法)

図-4 耐侵食性試験概要図

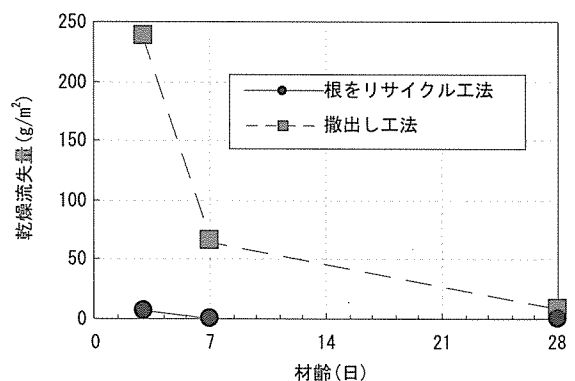


図-5 耐侵食性試験結果

表-5 植生の比較

工法	吹付厚 (cm)	使用材料	施工法	被覆率 (%)	雑草侵入状況 (本/m ²)
根をリサイクル工法	5	現場内で伐採、伐根材、流木を2.5cm以下に破碎したチップを堆肥化したものに種子、接合剤を混合する	モルタル吹付けガンを使用し、バックホウバケットに取り付けた回転式ノズル「シゲル君」で吹き付ける	100	0
撒き出し工法	7	現場内で伐採、伐根材、流木を15cm以下に破碎したチップ(堆肥化なし)に現地発生表土、水、肥料、団粒剤、接合剤、水を添加して練混ぜたもの	バックホウに高速ベルコンを搭載した高速ベルトコンベア式撒きだし機により吹き付ける	100	185
間伐材植生マット工法	-	間伐材をネットに加工したものに種子、堆肥を接着加工した植生マット	作業員により植生マットを法面に敷き、アンカーピンで固定する	100	1
無機系客土吹付け工法	2	セラミック系保水材、微生物資材、セメント系固化剤、山砂、種子をモルタルガン中で混合したもの	モルタル吹付けガンを使用し、命綱を付けたノズルマンにより人力で吹き付ける	17	1
客土吹付け工法 (チップ混入)	3	現場内で伐採、伐根材、流木を破碎したチップ(堆肥化なし)に肥料、種子、接合剤を混合する	モルタル吹付けガンを使用し、命綱を付けたノズルマンにより人力で吹き付ける	22	0
客土吹付け工法	3	バーク堆肥に肥料、養生材(ファイバー)、接合剤を混合したもの	モルタル吹付けガンを使用し、命綱を付けたノズルマンにより人力で吹き付ける	100	15

法に対して3割程度のコスト縮減が可能となる。

§ 6. コスト比較

『根をリサイクル工法』は、現場内で発生した不用木材を生育基盤材として利用するため、生育基盤材を購入する必要がない。また、不用木材の産廃処理費用も削減できる。このため、産業廃棄物処理費用までを考慮すると一層経済的に有利となる。

従来工法とのコストの比較例を表-6に示す。伐採面積10,000m²、のり面緑化工の施工面積を3,000m²の造成工事現場を仮定し、抜根材発生量、伐採材発生量をそれぞれ0.05m³/m²、0.10m³/m²とすると発生不用木材量は1,500m³となる。

吹付け面積3,000m²に対して必要木材量を粉碎、堆肥化および吹付け時の圧密にともなう減容率と材料を配合を考慮して計算する。この際、厚層基材吹付け工では生育基盤材はバーク堆肥を購入して使用するため、発生木材を使用しない。

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り、産業廃棄物処理費と直接工事費の合計額で比較すると、根をリサイクル工法が1,834万円に対して撒き出し工法は2,480万円、厚層基材吹付け工は2,700万円となる。以上より、この仮定条件においては従来工

§ 7. おわりに

『根をリサイクル工法』により、現場発生木材の現場内利用による「ゼロエミッション」が可能になるばかりでなく、吹付けの効率化および産業廃棄物の処分費の低減により、トータルコストを縮減することができる。

今後は抜根・伐採材のみならず、型枠廃材などの建設発生木材全般の利用を進め、建設発生木材全般の利用を進めることにより、建設発生木材のリサイクル率の向上に寄与することが期待される。

また、多段・長大のり面への適用など、さらなる高性能化およびコストダウンに向けた施工方法について研究・開発を行う予定である。

参考文献

- 1) 西田德行他、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
- 2) 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、2000

表-6 コストの比較

項目	根をリサイクル工法	撒き出し工法	厚層基材吹付け工
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 × 0.47 = 1,410	3,000 × 0.48 = 1,440	3,000 × 0.5 = 1,500
合計(① + ②)	1,834万円	2,480万円	2,700万円

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