特集1・建設副産物の再生資源化

ゼロエミッションに挑戦したのり面緑化工法の開発 —伐採樹木と現地表土の徹底利用—

石口 真実*

1. 建設現場から発生する伐採樹木の位置付け

造成工事や道路建設などの土木工事は、まず現地樹木の伐開・除根作業から始まる。こうして発生した伐採樹木のうち、良質で用材として利用可能な幹材等を除いた現場利用が困難な根や枝葉などは、これまで野焼きや遊休地への埋立て、または場外搬出などの方法で処分されてきた。しかし近年、自然環境への配慮などから野焼きが禁止となったほか、ダイオキシンなど環境基準の規制強化により焼却設備も高価となり、焼却による場内処分はきわめて困難な状況を呈している。また、場外搬出についても、原料として受入可能な堆肥施設やパルプ工場が現場近郊にない場合が多い。さらに、平成11年4月の建設廃棄物処理指針によれば、伐採樹木は建設業に関わる木くず、すなわち産業廃棄物との見解が示されるに至っている。

一方、従来から伐採樹木は「再生資源の促進に関する法律（リサイクル法）」において、指定副産物（建設発生木材）として再使用の促進が強く求められてきたが、平成11年11月には、森林内において建設工事等に伴い生ずる根株等を現場で自然還元利用、あるいは建設資材として利用する場合、廃棄物として規制しないとの厚生省通達[＊]が示された。この通達により、今後は伐採樹木の現場内リサイクルが一段と促進されることが予想される。

2. 有効利用の現状

伐採樹木の場内利用は、まず発生量の多い大規模工事現場で試験的に実施され、それ以後さまざまな場内利用技術の研究開発が行われている。現在では、ゼロエミッションを目指した有効利用を試みる現場

図-1 伐採樹木の利用例

も見られ、その多くは扱い易さから粉碎処理（チップ化）して利用する事例が多い（図-1）。以下に主な利用技術を紹介する。

2.1 堆肥化

伐採樹木が広葉樹の場合は、針葉樹に比べ有機分解し易いことから堆肥化に適している。したがって、場内で堆肥化に必要な敷地が長期間確保できれば、安価で有効な処理方法である。製造した堆肥は、現場内ののり面や緑地の原料として利用する。

2.2 炭化処理

チップを300～1000℃で加熱炭化処理する。得られた木質系炭化物は、炭化温度により軽量性・難燃性・吸水性・多孔性・緻密性・硬質などさまざまな特徴を有するため、これらの特徴を活かして水質浄化材、土壌改良材、建設床下材などとして利用できる。しかしながらこれらの材料を発生現場内で再利用することは困難な場合が多い。

2.3 マルチング材

土壌水分の蒸発防止、雑草の生育抑制、霜害防止、土壌改良、クッション材などの効果を目的として行うもので、のり面や道路の緑地帯、パーキングエリアの植栽部分、公園の遊具周り等にチップを10cm

*（株）熊谷組土木本部土木技術部
Masami ISHIGUCHI

程度の厚さで敷き均す。これは発生現場内でのリサイクルを可能とする利用方法の1つである。

2.4 緑化基材

切土のり面等の緑化を目的として行う吹付工法の基盤材として利用するもので、通常使用しているバーク堆肥等の有機質基材の代替品として粉碎したチップをそのまま、あるいは堆肥化させて使用する。本稿で紹介するネッコチップ工法はこの利用分野であるが、従来工法の抱える欠点を改良した新しいリサイクル緑化工法である。

3. ネッコチップ工法の概要

ネッコチップ工法は、伐採樹木（根、枝葉など）を針状に粉碎処理したチップに現地発生土と肥料・種子・団粒剤・接合剤・水を適切に混練した生育基盤材料を、新規に開発した高速ベルトコンベア式撒きだし装置により機械的に撒きだしてのり面に付着させて生育基盤を造成するのり面緑化工法である（図-2）。

本工法は、以下のような特徴を有している。

- ① 現地発生廃材（伐採樹木、現地発生土）をそのままの状態でリサイクル

伐採樹木は粉碎処理して長さ最大15cm程度の針状チップとし、これをのり面緑化の肥料としてではなく、生育基盤材料の補強材、土壌構造の改良材や保護材としての目的でリサイクルする（生材で利

用）。現地発生土は、チップと団粒剤、接合剤を添加混合して土壌改良することにより、植生に適した生育基盤材料としてリサイクルするとともに、現地発生土の中には多くの微生物が繁殖し、自生の植物種子が混入していることから、長期的には郷土種による周辺植物と調和した緑化復元が期待できる。

- ② 環境保全と廃棄物処分費の削減に寄与

建設廃棄物の排出を抑えることから、環境保全に貢献するとともに、これらの処分に要していた費用を大幅に削減することができる。

- ③ 侵食に強く植生に適した生育基盤の造成

針状チップ同士の絡み効果、団粒土壌への改良による排水性・保水性の向上効果、接合剤による接着効果などにより、降雨などによる侵食に強く、植生に適した生育基盤を造成できる。

- ④ 専用機械による高速施工

ネッコチップ工法専用開発した高速ベルトコンベア式撒きだし装置は、チップ同士の絡み合いにより流動性に乏しい生育基盤材料を均一に効率よくのり面に撒きだし付着させることができる。

- ⑤ のり面工との一体化施工システムによる工期短縮、施工コストの縮減と汚濁防止

整形が完了したのり面から順次、高速施工を行うため、工期短縮、施工コストの縮減が図れる。また、のり面地山の侵食を早期に防止することができ、雨天時に裸地のり面から発生する濁水を抑制できる。

図-2 ネッコチップ工法の実施フロー

4. ネッコチップ工法の施工方法

4.1 針状チップ、生育基盤材料の製造

伐採樹木（根・枝葉等）は、通常4インチスクリーンを装備した粉碎処理機によって、概ね長さ15 cm以下、幅1 cm以下の針状チップに粉碎する。

次に、水を入れた強制練りミキサー内にチップと現地発生土を体積比1:1の割合で混合し、これらに種子・肥料・団粒剤・接合剤を加えて混合し、チップ材同士が絡み合い現地発生土が均質に混合している生育基盤材料を製造する（表1）。なお、主原料であるチップと現地発生土は購入材料と異なり現場ごとで物性にバラツキがあるので、予め試験練りを実施して添加剤の配合を決定する。

4.2 材料運搬とストック

生育基盤材料は、予め1日の施工計画に基づいて必要分量を製造し、施工地点のストックヤードに運搬・仮置きする。運搬にはクローラダンプやダンプトラック、仮置きには鋼製ベッセルなどを使用する。なお、仮置きした材料が残っても、数日程度であればそのまま利用可能である。

4.3 生育基盤の造成

のり面への施工は、通常の掘削作業に使用するバックホウのバケットの代わりに高速ベルトコンベアを搭載した専用アタッチメント（高速ベルトコンベア式撒きだし装置）を用いて、整形が完了したのり面から順次行（図-3）。バックホウは、ブレイカー配管付きであれば機種を問わず使用できる。動力は、バックホウの油圧動力源だけで賄えるため、

表1 標準配合例（材料1 m³あたり）

材 料	配合量	備 考
チップ	500 ℓ	自然含水状態
現地発生土	500 ℓ	自然含水状態
団粒剤	3.0 ℓ	ポリアクリルアミド系
接合剤	4.0 ℓ	ポリ酢酸ビニル系
肥 料	8.0 kg	化成肥料50%，速効性肥料50%
種 子	別途	種子配合計画による
水（清水）	別途	現地配合計画による

制御用の配線と専用アタッチメントを装着するだけで稼働できる。吐出速度約10 m/sで撒きだされた生育基盤材料は、急勾配ののり面でも団粒構造を壊すことなく付着し、侵食に強い安定な生育基盤を造成する。

5. 従来のリサイクル緑化工法との相違点

従来のリサイクル緑化工法の多くは空気圧送方式による吹付け工法を採用している。この方法で施工するには基盤材料を圧送するホースの閉塞を防止するため、チップ材を5 mm程度に細かくしなければならず、チップ材同士の絡みや補強効果などが期待できず、降雨などにより容易に崩壊してしまう生育基盤となっていた。また、チップ材の小片化は二次破碎を必要とし、チップ化のコストアップ要因となる。さらに、従来の吹付け機では細粒分に富む現地発生土の使用は困難で、特に土壌の団粒化に適した粘性土は全く使用できなかった。

図-3 切土のり面の施工概念

表2 従来のリサイクル緑化工法との相違点

項 目	ネッコチップ工法	従来のリサイクル緑化工法
工 法	①工法として確立（ネッコチップ工法研究会設立） ・施工実績 45,000 m ² ②建設省技術審査証明取得および建設機械化協会準会長賞，2000年度日経BP技術賞を受賞	①リサイクルと称する類似工法は出ているが，工法として確立していない ・試験施工の域を出ていない工法が多い ・実績が少ない
適用範囲	①厚層基材吹付工より安価で厚層の基盤の造成が可能 ・1:0.7まで実績あり，1:0.5は試験施工実施済み ・岩盤のり面，急傾斜のり面 ・無土壌地 ・その他の緑化困難地 ②多種多様な植物の導入が可能 ・草本，木本 ・郷土種による植生復元 ・植栽工との併用が可能	①施工実績は試験施工程度と少ない
使用材料	①建設廃棄物の発生量を抑制できる ・現場で出たものをその現場で再利用 ・産廃処理費，緑化費用の低減 ・現地表土利用による地域植生の復元 ②現場でチップ化してすぐ使用可能（堆肥化不要） ・堆肥化のための期間，スペース不要 ・チップ材を構造材，補強材として利用	①リサイクル材はその現場から出たものでないケースが多い ・他の現場で堆肥化した材料を使用する ・他の現場の土壌を使用する ・それ以外のリサイクル材であっても他の現場で加工した材料を使用する ②チップ材は堆肥化したものを使用するケースが多い ・現場内での堆肥化には，堆肥化ヤードの確保，品質管理等の制約が多い ・現場外での堆肥化では，材料選別や運搬，包装等コストアップ要因が多い
生育基盤	①植生に適した団粒構造土壌 ②チップ材の補強効果，土壌改良効果が顕著	①チップ材だけでは植生に問題あり ・緑化に適した団粒構造を有していない ②生育基盤の耐侵食性や安定性に課題がある ・チップ材が細かく，絡み効果や補強効果が期待できない
施 工 性	①従来方式に比べ2～3倍の施工能力 ・バックホウのアタッチメント方式（土工事の作業員と機材で施工が可能） ②20cm程度のチップ材や石・レキが混入していても撒きだし可能 ・現地発生材の有効利用促進 ③のり面1段毎の施工（ロングブーム仕様では2段施工が可能） ・土工事の汎用機械の転用によるコスト削減 ・早期ののり面保護，緑化 →のり面の浸食防止・濁水の発生防止に効果大	①従来の空気圧送方式やポンプ式では施工条件に制約が生じる ・従来の機械で施工するためにはチップ材の小片化等が必要 ・施工できても施工能率が低く，能率的な施工ができない ②使用する材料の制約が多い ・粘土分の多い土や大きな石，レキ混じりの土壌は施工が困難 ③緑化まで長期間のり面を放置するため，浸食や崩落の発生が見られる
経 済 性	①廃棄物の処理費，運搬費の節減 ②緑化費用の低減	①必ずしもその現場で発生する廃棄物のリサイクルに限定できない ・現場外の廃棄物を再加工したリサイクル材を使用するケースが多い ②使用する材料の下地処理に費用が発生し，コストアップとなる
そ の 他	①ゼロエミッションの達成	①必ずしもその現場で発生する廃棄物のリサイクルに限定できない ・現場外の廃棄物を再加工したリサイクル材を使用する場合，ゼロエミッションとは言い難い

これらに対してネッコチップ工法は，前述したように高速ベルトコンベアにより機械的に撒きだす方法を採用しているため，従来の空気圧送方式ではまったく施工ができなかった大きな針状チップや粘性

土を含んだ材料をのり面に効率よく撒きだすことができるので，侵食に強く植生に適した生育基盤を造成できる（表2）。

写真1 タブグラインダーによるチップ化

写真2 のり面への撒きだし状況

写真3 植生生育状況 (1年半経過後)

6. 事例紹介

6.1 立命館アジア太平洋大学敷地造成 (切土のり面の自然復元を考慮した緑化)

平成10年4月から8月にかけて、大分県別府市の大学敷地造成工事においてネッコチップ工法により厚さ7cmの生育基盤を造成した(写真1, 写真2)。施工箇所は、粘性土主体の勾配1:1.5の切土のり面(約30,000㎡)であり、施工後に植栽を計画しているため、基盤安定が目的のひし形金網を使用できないところである。現地発生土は、当地で大量に発生する黒ボク土を使用した。また、導入植物はバミューダグラス、クリーピングレッドフェスク、レッドトップ、ススキ、メドハギの5種類である。

施工直後の10月、九州地方では最大降水量276.5mm、時間最大降水量57mmとかなりの降雨が観測されたにもかかわらず、生育基盤は顕著な流出もなく安定しており、チップの絡み合いによる補強効果が認められた。また、導入草本植物は施工2週間後には発芽し、植栽を経て1年半近く経過した現在も順調に生育している(写真3)。

6.2 建設省東北地建四十四田ダム (ダム周辺自然公園進入路のり面の緑化)

平成11年10月末、ダム周辺の環境整備事業で発生した伐根材を粉碎処理したチップの有効利用を目的として、ダム湖畔自然公園内の進入路盛土のり面(勾配1:2.0)約1,800㎡にネッコチップ工法により厚さ7cmの生育基盤を造成した(写真4, 写真5)。

導入植物は、ヤマハギ、コマツナギ、トールフェスク、メドハギ、オーチャードグラスの5種類である。現在、ダム湖に貯留する流木等の処理、有効利用にも当技術を応用すべく取り組んでいる。

6.3 建設省関東地建湯西川ダム (ダム建設に伴う伐採樹木の有効利用と自然復元を目的としたのり面緑化)

現在、ダム本体の建設に先立ち付替県道工事および工事用進入路工事等を施工中であるが、今後ダム事業の進展に伴い、関連工事で発生する大量の木根、枝葉の処分に苦慮することが予想され、こうした建設廃棄物の抑制とリサイクル促進ならびに自然環境保全の目的で本工法が試験的に採用された。工事は平成11年11月、付替道路の切土のり面(勾配1:1.0)850㎡を厚さ7cmで施工した。地域の自然復元を目的に導入植物は在来草本、木本を主体とした(写真6, 写真7)。

写真4 のり面への撒きだし状況

写真6 のり面への撒きだし状況（切土のり面）

写真5 施工完了後の状況

写真7 生育基盤材製造プラント

7. 今後の展開

ネッコチップ工法は伐採樹木や現地発生表土など、工事現場で発生する廃材を場外に排出することなく現地ののり面緑化の材料としてリサイクルすることを目的として開発した緑化工法である。ダム湖に定期的に貯留する流木や倒木などのリサイクル緑化として利用すれば、ダム湖周辺の自然環境保護に役立ち、正に一石二鳥の効果がある。

本工法は平成11年3月に建設省の先端建設技術・

審査証明を取得し、同年7月には平成11年度日本建設機械化協会準会長賞を、平成12年4月には2000年度日経BP技術賞を建設部門において受賞し、環境を重視したリサイクル緑化工法として広く社会に認知されることとなった。また、特定の業者だけに限定された閉鎖的な技術としないために平成11年4月にはネッコチップ工法研究会を設立し、広く工法の普及・展開活動に努めている。

今後、規制緩和という追い風を受けて、ネッコチップ工法もさらなる普及・展開をめざすとともにこうした有効なりサイクル工法が全国各地で広がることを期待したい。