

膨軟化木材チップを用いた法面緑化地における植生, 基盤, 土壤生物の変化

栗林祐大¹⁾・高橋輝昌^{*1)}・池田昌義²⁾・沓澤 武²⁾

1) 千葉大学大学院園芸学研究科

2) 日本基礎技術株式会社

概要:近年の法面緑化では、堆肥化、チップ化した現地発生木材の基盤材としての活用が行われているが、植物の生育阻害などの問題が懸念される場合があり、導入技術には検討の余地がある。また、緑化目標の達成度は植生調査のみから測られることが多く、基盤や他の生物について経年変化を調べることは少ない。自然回復緑化への施工法の変化に対応するには、基盤や土壤生物の変化について調査し、物質循環系の形成や生物相の多様化といった観点から、法面緑化地を評価することが有効であろう。そこで、膨軟化処理を行った木材チップを施用した法面緑化の特性を、植生、植栽基盤および土壤生物について施工後6年目までの変化を定量的に把握することで検討した。結果として、施工後5ヶ月でC/N比が平均約40から約30まで下がり、植生被度は施工後15ヶ月で平均70%を超えた。本工法では少なくとも施工後4年で植物量、C/N比は安定したが、施工後3ヶ月間の植物量が少ない期間に、窒素溶脱が確認された。微生物活性は施工後一定の値で維持され、植物の増加に伴う物質循環系の形成が推察された。ミミズの増加と基盤の理化学性や植生状況の関係は説明できなかった。
キーワード: 膨軟化, 木材チップ, 生態系再生, 法面, リサイクル, 評価

Key word: Disintegrated Fibers, Wood Chip, Ecological Restoration, Artificial Slope, Recycle, Evaluation

1. はじめに

剪定枝葉や伐採木等の木質系廃棄物を有効活用する必要性が認識され、その事例が増えている。特に、道路建設や災害により山林部で発生する木質廃棄物は多く、近接法面における自然再生事業で活用がされている。木質廃棄物の活用については堆肥化・チップ化し、基盤材として法面に導入する方法が一般的であるが^{27), 13), 19), 32)}、それぞれ長期の堆肥化期間が必要となることや、窒素飢餓が危惧される³³⁾など問題があり、より有効な法面導入技術の確立が求められる。

膨軟化木材チップ¹⁷⁾は、木質チップを解繊させ植生基盤材として利用できるよう開発され、基盤の保水力、保肥力を向上させる特徴を持つとされている²¹⁾。さらに、木質繊維が破碎されているため分解が早期に起こり窒素飢餓の影響が少な

い、堆肥化せず膨軟化処理後すぐに吹付が可能、法面に導入可能な木質廃棄物量の増加など、開発者によると法面緑化での活用に対しメリットがあるとされている²¹⁾。

法面緑化地では、対象地に存在していた環境の復元を目標とする場合が多く^{24), 25)}、殆どの場合植生調査のみによりその達成度が評価されている^{15), 16), 30)}。しかし、生態系が植物、土壤、その他生物などから構成されることから、植生のみによる法面緑化の評価には疑問が残る。また、近年では生物多様性に配慮した自然回復緑化への施工法の変化が現れ始めており^{6), 23), 34)}、このような状況の変化に適した評価基準の早期作成が必要である³⁴⁾。

生物多様性について考える際には、緑地を構成する植物種(生産者)の多様性だけではなく、生態系内で機能の異なる生物(生産者, 消費者, 分解者)のバランスも配慮されるべきである。生態系を維持するために必要なそのバランス²⁸⁾は、施工直後の法面緑化地においては、基盤や導入植物(種子)のみが存在するため成立していない。そのため、施工直後の法面緑化地は物質循環系が機能しておらず、安定しない生態系を形成している。物質循環系が形成された、安定した生態系の評価のためには、植物や植栽基盤、土壤生物といった生物相の変化を把握することが重要である。

大型土壤生物であるミミズは、土壤での分解系において現存量が大きく¹¹⁾、土壤微生物と共に物質循環系に影響すると考えられる。また、施工直後の法面緑化地において、ミミズの侵入は生物相の多様化をもたらす。土壤生物による環境評価にはいくつかの報告があり、その有効性が示されている^{1-3), 14), 31)}が、その活用事例は少ない。その理由として、評価対象地での土壤生物動態の把握がなされておらず、適応できないことが考えられる。

そこで本研究では、膨軟化処理を行った木材チップを施用した法面緑化の特性を、植生、植栽基盤および土壤生物について施工後6年目までの変化を定量的に把握することで検討した。

2. 調査対象地および調査方法

2.1 調査対象地

膨軟化チップ吹付による法面緑化¹⁷⁾が行われている、茨城県御前山ダム(下記、茨城調査地)および奈良県大迫ダム(下記、奈良調査地)近接法面の施工後経過年数が異なる数地点において調査を行った。茨城調査地では、2009年4, 7, 9, 12月, 2010年4, 7月に調査を行い, 施工後1年目から2年目の変化を把握することを目的とし, 奈良調査地では2009年7月および2010年7月に調査を行い, 施工後4年目から5年目, 5年目から6年目の変化を把握することを目的とした。両調査地の詳細情報を表-1に示す。茨城調査地では礫の上に, 奈良調査地ではコンクリートの上にそれぞれ施工されている。また, 両調査地では基盤層厚が異なっており, 奈良調査地ではシカによる緑化植物の食害が見られる。奈良調査地の平成18年施工区では, 厚層基材吹付工で施工された場所を本研究の対象とした。

2.2 植生調査

茨城調査地では, 上記期間に植生調査(Braun-Blanquet法⁹⁾)を用い, 全体の被度(%)を記録した。また同期間の7月のみ, 植生地上部を刈り取り, その乾燥重量を測定した。それぞれ, 調査方形区1m², 24反復で調査した。

奈良調査地では, 同様の調査を調査方形区0.25m², 各施工年度毎に6反復で調査した。

2.3 植物体中の窒素量の分析

刈り取った全植物体を乾燥させ粉碎した後, 全植物体中の窒素量をCNコーダー法⁹⁾で測定した。ただし, 施工後15ヶ月目については, 刈り取った植物体を同化部と非同化部に分けて粉碎, 分析し, 計算により全植物体中の窒素量を求めた。

2.4 植栽基盤の諸性質の測定

茨城調査地において, 2009年4, 7, 9, 12月, 2010年4, 7月に, 各調査区から表層0-5cm深の植栽基盤を24反復で採取した。また奈良調査地では, 2009年7月および2010年7月に同深の植栽基盤を6反復で採取した。採取した基盤の窒素量およびC/N比をCNコーダー法⁹⁾で, pH(H₂O)をガラス電極法(生チップ材:H₂O=1:10)⁹⁾で測定した。また, 採取した基盤の微生物活性をFDA加水分解活性法¹⁰⁾で測定した。さらに, 現地において基盤表面での硬度(山中式土壤硬度計法⁹⁾)を測定した。

2.5 土壤生物(ミミズ)調査

2009年7月と2010年の7月のみ, ミミズの個体数を測定した。茨城調査地では1m², 奈良調査地では0.25m²の範囲の基盤を掘り出し, ハンドソーティング法⁹⁾で個体数を記録した。茨城調査地では24反復, 奈良調査地では各施工年度毎に6反復で測定を行った。

2.6 経時変化の把握

奈良調査地について, 植生調査および植物体中の窒素量では, 気温や降水量などの年変動を考慮し, 同一年に調査した

表-1 各調査地における施工の概要

	奈良県大迫ダム		茨城御前山ダム
	平成17年	平成18年	平成20年
施工年度	平成17年	平成18年	平成20年
施工方法	膨軟化チップ吹付工法	膨軟化チップ吹付工法	膨軟化チップ吹付工法
施工時導入基盤量	0.236(m ³ /m ²)	0.236(m ³ /m ²)	0.04(m ³ /m ²)
基盤層厚	12~30(cm)	5~30(cm)	3~5(cm)
基盤混入率	膨軟材:パーク:マサ土=7:2:1	膨軟材:パーク:マサ土=7:2:1	膨軟材:パーク:山砂=38:52:10
基盤肥料配合(4kg/m ²)	N:P:K=16:5:14	N:P:K=16:5:14	N:P:K=10:18:15
表層吹付材	パーク100(%)	パーク100(%)	—
表層肥料配合(4kg/m ²)	N:P:K=15:15:15	N:P:K=15:15:15	—
表層厚	3(cm)	3(cm)	—
播種植物(発生期待本数/m ²)	コマツナギ 30 ヤマハギ 30 メドハギ 50 ヤシャブシ 15 シャリンバイ 5 ヨモギ 50	コマツナギ 30 ヤマハギ 30 メドハギ 50 ヤシャブシ 15 シャリンバイ 5 ヨモギ 50	コマツナギ 50 マハギ 50 メドハギ 50 イタドリ 50 カヤ #
法面勾配	1:1.2~1.3	1:1.1~1.2	1:1.6~2.6
方位	北向き	北向き	北向き
標高	430(m)	430(m)	100~140(m)
平均気温	12.7(°C)	12.7(°C)	13.9(°C)
年間降雨量	1,474.6(mm)	1,474.6(mm)	1,433.5(mm)
施工面積	厚層基材吹付工 6,887(m ²)	厚層基材吹付工 2,337(m ²) 階段植生工 3,372(m ²)	厚層基材吹付工 18,500(m ²)
法面位置	法面下方	法面上方	—
備考	シカによる食害あり 上方法面とは約1(m) 離れて隣接	シカによる食害あり 下方法面とは約1(m) 離れて隣接	—

結果を比較した。一方、植栽基盤や土壌生物では、施工場所による変動が大きいと考え、同一場所で異なる年に得た結果を比較した。また、調査地ごとに、調査時間間の差を Steel-Dwass の方法で検定した。

3. 結果と考察

3.1 植生調査

調査区の植物による被度の推移を図-1 に示す。全体被度は、茨城調査地では、施工1年目の夏期（施工3ヶ月目）から施工2年目の夏期（施工15ヶ月目）にかけて、平均約5%から平均約70%と大幅に増加した。奈良調査地では施工4~6年で平均85%以上の被度であった。

植生地上部乾燥重量の推移を図-2 に示す。単位面積あたりの植生地上部の乾燥重量は、茨城調査地では、施工2年目の夏期（施工3ヶ月目）に、施工1年目の夏期（施工15ヶ月目）の平均約90倍と大きく増加した。奈良調査地では、施工4~5年目でほぼ一定、施工5~6年目でわずかに増加する傾向を示し、有意差は見られなかった。これらのことから、植生量は施工2年目に急増し、少なくとも4年目以降には比較的安定すると推察される。

3.2 植物体中の窒素量

1 m²あたりの植物中の N 含有量の推移を図-3 に示す。茨城調査地において、施工1~2年目では、単位面積あたりの植物体に含まれる平均窒素量は増加傾向にあった。奈良調査地では、施工4~5年目で減少、施工5~6年目ではほぼ一定の傾向を示した。

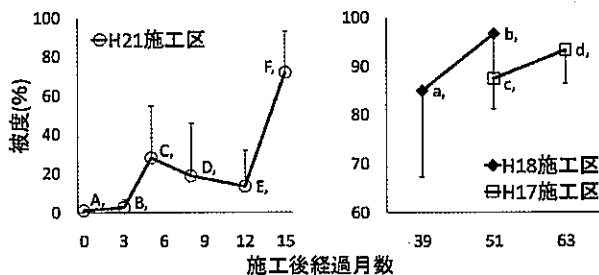


図-1 被度の推移

値は平均値，エラーバーは標準偏差（施工15ヶ月目まで n=24，39ヶ月目以降 n=6）を示す。英文字（大文字と小文字は区別）は、コンマより前がその値の分類名。コンマより後にある英文字と同じ分類名の値と Steel-Dwass の方法による有意差がないこと (P>0.05) を示す。

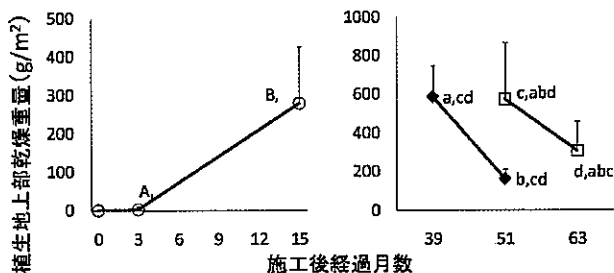


図-2 植生地上部乾燥重量の推移

値，エラーバー，英文字，凡例は図-1 と同様

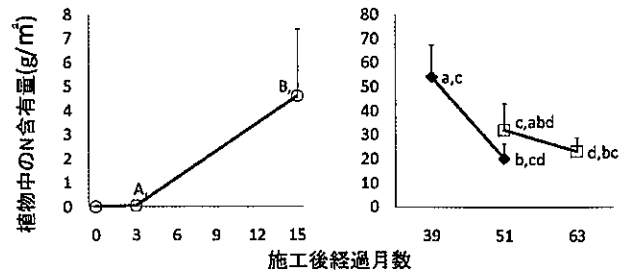


図-3 1 m²あたりの植物中の N 含有量の推移値，エラーバー，英文字，凡例は図-1 と同様

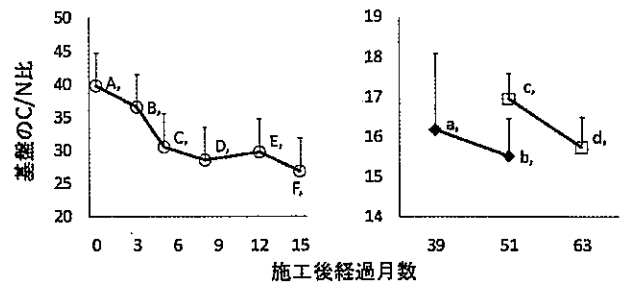


図-4 基盤の C/N 比の推移

値，エラーバー，英文字，凡例は図-1 と同様

3.3 植栽基盤の化学性・物理性・生物性

3.3.1 植栽基盤の化学性について

基盤の C/N 比の推移を図-4 に示す。茨城調査地では、C/N 比は施工後約5ヶ月間で平均40から平均30程度に変化し、その後は約半年に渡り概ね一定の値で推移した。一定の値で推移することは、秋期（施工6ヶ月目）から冬期（施工後12ヶ月目）の低温状態に起因すると考える。奈良調査地では、施工後4年目で、C/N 比が平均16程度となり、施工4~5年目、施工5~6年目ともに基盤の C/N 比は減少傾向にあった。しかし、その減少幅が施工後初期に比べて小さいことから、施工後4年目以降、基盤の C/N 比は概ね安定して推移したと考える。日本バーク堆肥協会が定めるバーク堆肥の品質基準 C/N 比は35以下であり²⁰、膨軟化木材チップの平均値は施工後5ヶ月以内にこの基準を満たしていた。

1 m²あたりの基盤中の N 重量の推移を図-5 に示す。茨城調査地では、施工後3ヶ月の植物量が極端に少ない期間に1 m²あたり平均15 g 程度の窒素が減少していた。この時期には、植物量が少なく、植物による窒素吸収が殆どおこなわないので減少した窒素の多くは基盤から溶脱したと考えられる。しかし、それ以降は施工後15ヶ月目まで、基盤に含まれる窒素量は増加傾向にあった。また、奈良調査地では、施工4~5年目、施工5~6年目ともに基盤に含まれる窒素量の平均値は増加傾向にあった。これらの基盤中の窒素量の増加は、窒素固定細菌による窒素固定の影響を受けたためと推察される。

基盤の pH の推移を図-6 に示す。茨城調査地では、施工初期の pH が平均7.1程度であるのに対し、その後15ヶ月で平均6.5程度まで低下した。また、奈良調査地において、施工後5、6年目で、pH は平均6.3程度まで低下した。こ

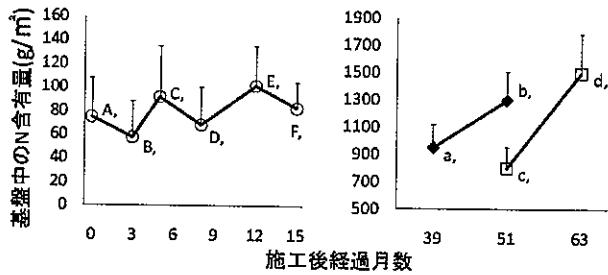


図-5 1m²あたりの基盤中のN重量の推移値, エラーバー, 英文字, 凡例は図-1と同様

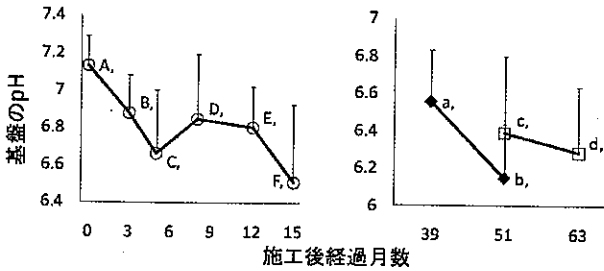


図-6 基盤のpHの推移値, エラーバー, 英文字, 凡例は図-1と同様

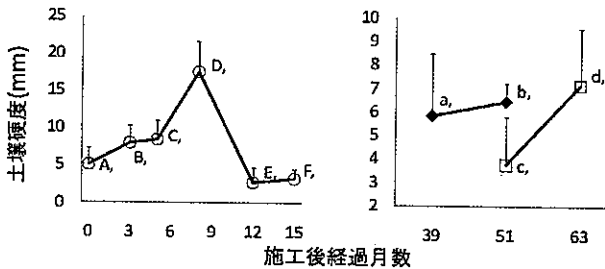


図-7 土壌硬度の推移値, エラーバー, 英文字, 凡例は図-1と同様

れは、後述する土壌微生物などの呼吸に由来する炭酸によるものと考えられる。

3.3.2 植栽基盤の物理性について

土壌硬度の推移を図-7に示す。茨城調査地では、土壌硬度(山中式)は夏期(施工3ヶ月目)及び冬期(施工8ヶ月目)に上がり、特に冬期の上昇が大きかった。施工初期と1年後の比較では平均5(mm)程度から平均3(mm)程度に下がった。夏期については、土壌の乾燥や植物の根茎の増加が影響しており、冬期には土壌の凍結が影響し、全体としては1~2年目にかけて基盤の分解が進み硬度が下がったと考える。一方、奈良調査地では、施工4~5年目、施工5~6年目ともに土壌硬度の平均値は上昇した。基盤の分解(C/N比)が施工4年目以降安定したことに加え、植物量の増加に伴う根茎の発達に影響していると考えられる。

3.3.3 植物基盤の微生物活性について

微生物活性の推移を図-8に示す。茨城調査地では、施工後15ヶ月間、微生物活性は概ね平均1.2~1.5で推移した。奈良調査地では、施工4~6年で平均約1.2~1.7で推移し、ばらつきは見られるものの長期間一定の微生物活性が維持されていることが示された。微生物活性(FDA加水分解活性

法)は有機物に含まれる易分解性有機物の量を反映しており^{9),12),25)}、高橋ら(2006)は、木質チップの堆肥化に伴い微生物活性が低下することを報告している²⁵⁾。また、樹木の剪定枝の堆肥化過程で微生物活性が増加した後に減少する傾向が報告されている¹²⁾。本調査地で微生物活性が一定の値を保つ原因として、基盤上に成立した植生による易分解性有機物を含む新鮮な有機物供給が考えられる。すなわち、本試験地では植物の増加とともに、基盤中に一定の微生物活性を維持できるような物質循環系が創られていることが推察される。

3.4 土壌生物(ミミズ)調査

1m²あたりのミミズ個体数の推移を図-9に示す。茨城調査地では、施工後1年間でミミズ個体数の平均値はわずかに増加した。奈良調査地では、ミミズ個体数の平均値は施工後4~5年目では一定、5~6年目では減少傾向を示した。茨城調査地でみられたミミズは体長5mm程度であり、同定はできなかった。奈良調査地では体長30~100mm程度のシマミミズやフトミミズと推察される。ミミズが多く確認できた平成17年施工区ではC/N比が低かった。これは、ミミズが低いC/N比を好むとする既往の報告^{9),26)}に合致する。しかし、隣接緑地からの距離などの周辺環境の違いが、法面緑化地におけるミミズ個体数の増減には影響が大きいと思われる。

4. おわりに

膨軟化木材チップを用いて施工された法面緑化地において、施工後の経年変化を、植物、基盤、土壌生物について把握し、その特性を検討した。本研究の結果から、C/N比が施工後約5ヶ月間で平均40から平均30程度に変化し、植生被度の平均値が施工後15ヶ月で70%を超えた。本工法では、少なくとも施工後4年で植物量、C/N比は安定した。

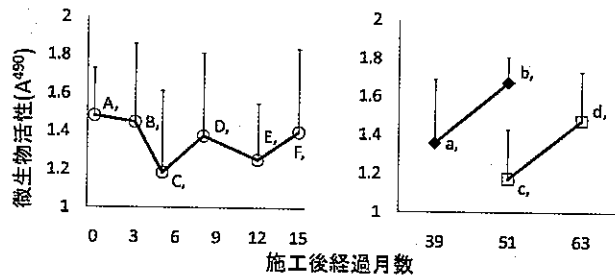


図-8 微生物活性の推移値, エラーバー, 英文字, 凡例は図-1と同様

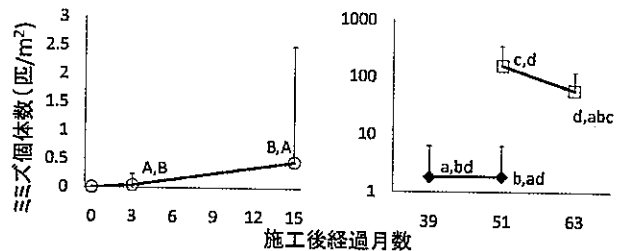


図-9 1m²あたりのミミズ個体数の推移値, エラーバー, 英文字, 凡例は図-1と同様

しかし、施工後3ヶ月間の植物量が少ない期間に、植物による吸収量を上回る窒素溶脱が確認された。微生物活性は施工後一定の値のまま維持され、植物量の増加に伴う物質循環系の形成が推察された。

物質循環系の成立や生物相の多様化を測る指標の1つとして、ミミズ個体数の経年変化を調べたが、C/N比のような基盤の理化学性や植生状況から、ミミズ個体数の増加を説明することはできなかった。ミミズの侵入源として法面緑化地周辺の緑地が考えられ、今後は周辺緑地との距離や高低差により、ミミズの侵入の程度に違いがあるかを調べる必要がある。

本報の特性をより明らかにするためには、今後、他の資材や施工法との比較検討が必要である。

謝辞：本研究を行うにあたり、千葉大学大学院園芸学研究所の小林達明教授、加藤顕助教授には有益なご助言をいただいた。また、千葉大学園芸学部再生生態学研究室の学生各位及び日本基礎技術株式会社の関係者各位には、調査や実験等にご協力いただいた。記して厚くお礼申し上げる。なお、本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号 21580024）により行われた。

引用文献

- 1) 青木淳一 (1989) 土壤動物を指標とした自然な豊かさ指標評価, 都市化・工業化の動植物影響調査法マニュアル: 127-143, 千葉県.
- 2) 青木淳一 (1995) 土壤動物を用いた環境診断, 沼田真編 自然環境への影響予測, 千葉県環境部, pp 197-271
- 3) 青木淳一 (1998) 土壤動物の自然保護, 自然保護ハンドブック: 692-701.
- 4) Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensoziologie, 3rd ed. 865 pp. Springer, Wien.
- 5) 土壤環境分析法編集委員会編 (1997) 土壤環境分析法, 博友社, pp. 222-226.
- 6) 福岡博史・笠康三郎・多田和樹 (2001) 郷土種の侵入促進を図った法面樹林化手法について 無種子厚層基材吹付施工5年後の植生評価, 日緑工誌, 27(1): 362-365.
- 7) 二見肇彦・牧孝憲・猪俣景悟・楠浦重富 (2003) 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, 日緑工誌, 29(1): 185-188.
- 8) 菱拓雄・前田由香・田代直明 (2010) 九州大学北海道演習林の天然落葉広葉樹林およびカラマツ人工林における斜面方位に着目した土壌と大型土壤動物の特徴, 九大演報, 91: 1-6.
- 9) 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明 (2006) FDA (フルオレセイン・ジアセテート) 加水分解活性を用いた森林土壌の微生物活性の簡易測定, 森林立地, 44(2): 15-22.
- 10) 市川貴大・市川明日香・浦川梨恵子 (2008) FDA (フルオレセイン・ジアセテート) 加水分解活性を用いた有機物中の微生物活性の簡易測定, 森林立地, 50(2): 175-177.
- 11) 市川隆子・高橋輝昌 (2007) ミミズや微生物資材を用いた土壌改良方法の検討, 日緑工誌, 33(1): 277-280
- 12) 石井匡志・高橋輝昌・荻野淳司・原和久 (2004) 堆肥混入と頻繁な切り返しによる剪定枝の堆肥化促進法の検討, 日緑工誌, 30(1): 320-323.
- 13) 池田桂・橋本富男・渡部恵示・大内保・寺澤雅樹 (2003) 切土法面における木質系チップを利用した緑化事例, 日緑工誌, 29(1): 182-184.
- 14) 門田浩子・山寺喜成・宮崎敏孝 (2002) 土壤微生物活性による植生回復度評価に関する研究: 緑化施工地における評価手法の検討, 日緑工誌, 28(1): 216-219.
- 15) 北山敬三・山田守 (2008) 資源循環型緑化工法と苗木植栽工を組合わせた法面樹林化実験の追跡調査, 日緑工誌, 34(1): 199-202.
- 16) 北山敬三・山田守 (2010) 資源循環型緑化工の施工事例における施工後約6年間の植生追跡調査, 日緑工誌, 36(1): 123-126.
- 17) 沓澤武 (2010) 日本基礎技術株式会社 (JAPAN FOUNDATION ENGINEERING CO.LTD), 日緑工誌, 35(4): 557.
- 18) 松本貞義・井上泰蔵 (1987) 鶴見緑地公園における異なる植生下の土壌と土壤動物群集, 近畿大農紀要 20: 43-49.
- 19) 西田德行・松浦誠司 (2000) 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, 7: 234.
- 20) NPO 法人日本パーク堆肥協会 (2010) パーク堆肥の特性・品質基準, <http://www.nihonbark.jp/products2.html>, 2010.11.29 最終閲覧.
- 21) 新技術情報提供システム, 膨軟化チップ吹付工法, http://www.netis.mlit.go.jp/RenewNetis/Search/Nt/NtDetail1.asp?REG_NO=TH-050012&TabType=&nt=nt, 2011.01.30 最終閲覧.
- 22) 斜面緑化研究部会 (2004) のり面における自然回復緑化の基本的な考え方のとりまとめ, 日緑工誌, 29(4): 509-520.
- 23) 橋隆一・福永健司 (2000) 法面緑化施工地の根圏環境評価方法としての土壌理化学性および生物学的性質の検討, 日緑工誌, 25(4): 623-626.
- 24) 橋隆一・福永健司 (2001) 播種工による法面緑化施工地における窒素の無機化, 日緑工誌, 27(1): 142-147.
- 25) 高橋輝昌・吉田亮・井上政義・小柳倫生・中野裕司 (2006) 副資材に下水汚泥コンポストを用いた木材チップの堆肥化特性, 日緑工誌, 32(1): 50-55.
- 26) 橋輝昌・米田伸吾・石井匡志・荻野淳司 (2008) 堆肥添加と頻繁な切り返しによる剪定枝葉の堆肥化特性, ランドスケープ研究 (オンライン論文集), 1: 40-43.
- 27) 塚本次郎 (1985) 落葉広葉樹林内の斜面における大型土壤動物について, 日生態会誌, 35: 601-607.
- 28) 堤利夫 (1989) 森林生態学: 166 pp, 朝倉書店.
- 29) 山田守 (2010 a) 法面の植生回復事例における初期緑化目標が完成するまでの期間とその群落特性—植生回復緑化における検査の考え方—, 日緑工誌, 33(3): 463-465.
- 30) 山田守 (2010 b) 広島県内の法面緑化18事例の植生追跡調査, 日緑工誌, 36(1): 115-118.
- 31) 八巻明香・橋隆一・福永健司 (2002) 土壤動物を指標とした緑化法面の環境評価手法に関する研究, 日緑工誌, 28(1): 271-274.
- 32) 横塚享・小林正宏・斉藤茂・細江清二 (2000) 未分解チップ施用土壌による法面緑化事例, 日緑工誌, 25(4): 471-474.
- 33) 横塚享・小林正宏・大谷多香・高橋正通・赤間亮夫・太田誠一 (2001) 未分解チップ施用法面の土壌化学的特性および植生状況, 日緑工誌, 27(1): 181-184.
- 34) 吉田寛 (2005) 播種工による法面緑化とモニタリング手法, 日緑工誌, 30(3): 532-540.

(2011. 2. 16 受理)