自然回復緑化における土壌シードバンク利用と市販種子利用の評価

高 政 鉉¹⁾・上田 徹²⁾・森本幸裕¹⁾・柴田昌三¹⁾

1) 京都大学大学院地球環境学舎・学堂 Grad. Sch. of Glob. Env. Studies, Kyoto Univ. koh1031@j01.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

2) (株)環境総合テクノス KANSO Corporation.

摘要: 自然公園区域において、森林表土の土壌シードバンクを用いた切土法面の植生回復のための施工方法を検討するため、①土壌シードバンクと市販種子の導入試験と②植生基材吹付工に有機質材料を用いた工法とこれに土壌を添加した材料を用いた工法を行い、施工後4年間に発芽、成立する植物群落について経年的に調べた。森林表土を用いた手法は、市販種子を導入する従来手法に比べ、出現種数は2つの工法でそれぞれ2.8倍及び5.2倍であり、成立本数は1㎡当たり6.0本及び17.5本であった。施工4年後には従来の工法に比べて、現存量に関する差がなくなり、多様・多層の植物群落形成され、自然回復緑化における土壌シードバンクの有効性が示唆された。

キーワード: 自然回復緑化, 土壌シードバンク, 森林表土, 植生遷移, 市販種子
KOH, Jeung-hyun, UEDA, Toru, MORIMOTO, Yukihiro and SHIBATA, Shozo: **Evaluation of using soil seed bank and commercial seeds in nature revegetation**

Abstract: We compared seedlings growth from ①soil seed bank and commercial seeds ②cultivative base of organic matter and that of organic matter with mineral soil in revegetation methods. The results of monitoring for 4 years were as follows; 1) species richness of soil seed bank of two revegetation methods were 2.8 and 5.2 times more than those of commercial seeds. 2) number of seedlings were 6.0~17.5 per 1㎡ in soil seed bank plots. And indices of biomass 4 years after construction in soil seed bank were similar to those of commercial seeds. It would be possible to make diverse both landscape and plant community by soil seed bank.

Key words: nature revegetation, soil seed bank, forest topsoil, plant succession, commercial seeds

1. はじめに

近年、緑化工においては侵食防止だけでなく、自然景観の修復や自然生態系の回復など社会的要望の強いさまざまな目標を実現するために自然回復緑化が要求される事例が増加している¹⁸⁾。

その結果、緑化植物には、同じ種でも移入種より自生種¹³⁾を導入して郷土の自然と生物多様性の保全を目指すケースが多くなっている。自生種を用いる緑化工法として脚光をあびている工法の一つには造成工事の際に採取できる現地発生表土に含まれる土壌シードバンクを利用する方法があるが、この緑化工法の位置づけは今後よりいっそう明確にする必要がある。

土壌シードバンクとは土壌表面の上下に存在する発芽ポテンシャルを持つあらゆる埋土種子の集団のことをさし^{19,20)},

荒廃地の緑化・生態復元における種多様性と個体密度の維持において重要な役割を果たす可能性がある¹⁾。

日本における土壌シードバンクを用いた緑化の先駆事例としては、亜高山地帯における道路緑化での「タネ潜在表土」を播いた試験研究²³⁾や自然公園区域に建設されたダムにおいて、森林表土を盛土法面に撒き出して早期に低木林を形成した事例⁹⁾が知られている。

一方、森林表土を利用した緑化工は、法面ではほとんどが盛土法面で行われてきたが、最近では勾配や土壌水分などの立地条件がより厳しい切土法面での研究事例も報告されている^{2,11,14)}。ただし、それらの内容は土壌シードバンクのみからの発芽・生長を経年的に調べたにとどまり、市販種子を用いた緑化と比較した事例はない。本研究では以上を踏まえて、ミティゲーションが要求された自然公園区域における造成予定地の急傾斜の岩盤切土法面に対して、森林表土を用いた植

生回復に関する施工方法を検討するために、森林表土を植生基材吹付工の材料に混入する手法を試験施工した。本稿では2種類の植生基材吹付工において、①土壌シードバンクのみを導入した試験、と②市販種子のみを導入した試験、を行ってそれぞれを比較することとした。また、施工後4年間に成立する植物群落について特に木本に注目して経年的に調べ、法面における安定的な生育状況及び周辺林の自然回復を図る手段としてのこれらの工法の効果と限界を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 試験場所および表土採取

試験は、福井県敦賀市にある日本原子力発電(株)敦賀発電所構内のスタック道路沿いに位置するモルタル吹付がなされていた切土法面(写真-1)で行った。敦賀市は北緯35度39分、東経136度03分に位置し、陸域が若狭湾国定公園第二種特別地域に指定されている。

試験地の気象は、調査期間中である2001年から2005年の年平均気温が15.7℃、年平均降水量が2,292mmであった。法面の方位は北北西、地質は花崗岩風化土～軟岩であり、勾配は約45度である。

表土採取地域の植生は、ユキグニミツバツツジ・アカマツ群集、オクチョウジザクラ・コナラ群集、ヤブコウジ・スダジイ群集、クロマツ植林が成立している。その主要構成種は、常緑樹林では、スダジイ、ヤブツバキ、シロダモ、ヤブニッケイ、シキミなど、コナラ林ではコナラ、アカマツ、クリ、ネジキ、シャシャンボ、アセビ、ゴンズイなどである。

表土採取地域の木本植生と法面緑化試験での発芽種との類似性を比較するために、表土採取地において、表土を採る前に毎木調査を行った。調査地点において、10m×10mの方形区を設置し、胸高以上の木本を対象に、樹種名と胸高直径を記録した。

表土は、2001年10月下旬に施工地と直線距離で800m離れている同様の標高(45m)に位置する同じ敷地内の改変予定地に最も広く分布するユキグニミツバツツジ・アカマツ群集の一角から採取した。採取は、土壌表面のL層を取り除いた後に、その下のF、H層からA₁層までの深さ約5cmを対象に、スコップを用いて人力で行った。採取深の決定については、地表面から深さ5cmまでに多くの埋土種子が分布し、腐植も多くて緑化試験に最適であり、採取効率も良いという先行研究^{7,10,17)}を参考にした。なお、採取した表土は、約20Lを目安として土嚢袋に詰め、施工までの約1ヶ月の間は敷地内の溪流沿いの樹林の比較的冷涼な日陰地で、常温で保存した。

2.2 施工方法

2.2.1 導入工法

施工は、2001年10月27日に既設のモルタル吹付を解体・撤去した後、同年11月下旬に、新たに下層基盤として20cm厚の

写真-1 試験地の施工前の様子（モルタル吹付解体前）

Photo 1 Conditions of sites before construction.

繊維補強土工法¹⁶⁾を施工し、その上に表層基盤として厚さ5cmの植生基材吹付工を施工した。

下層基盤に20cm厚で繊維補強土工法を施工した理由としては、①造成計画では前方に埋め立てが行われる急傾斜の切土法面が存在し、さらに強い海風にも耐える植物群落が成立できる生育基盤が必要であること、②自然公園区域内の造成地であり、景観・法面安定の面で適した工法であること、③土地造成の際に発生する残土の一部を再利用できること、④十分な支持強度を持ち、地山の崩れや侵食などに耐えられること、等があげられる。

また、生育基盤材の主材料の違いが木本種の発芽・生長に与える影響を検討するために、表層基盤に2種類の植生基材吹付工法、①生育基盤材にピートモス、パーク堆肥を使用した有機質材料区(A試験区)、②客土材に団粒剤を混入して泥状化した高次団粒構造基盤に連続繊維を混入する接着繊維工を施工した土壌添加区(B試験区)を導入した。試験区の設定は表-1に示し、総面積は80m²(幅5m×法長4m×4区)とした。

2.2.2 種子配合

種子配合は上記の各試験区に対して、現地の森林から採取した表土のみを導入した試験区(現地表土区)と従来の緑化工でよく使われる先駆樹種であるアカメガシワ、ヌルデ、オオバヤシャブシ、ヤマハゼの種子を購入して導入した試験区(市販種子区)の2種類とした。これらの試験区は、採種や貯蔵に手間がかかることから²⁵⁾入手可能な種が少ないことや価格が高いことなどから使用される種が限られている市販種子に対して、多様な木本群落が形成できる土壌シードバンクの有効性を明確にするために設定した。

モルタルコンクリート吹付機で施工するA試験区は5cm全層を、スラリーポンプで施工するB試験区は最上層2cm厚を、それぞれ種子層と位置づけ、種子層に対して以下の内容で表土と種子をそれぞれ混入した。

表土の混入率は、先行事例⁷⁾を参考にして容積比で20%とし、A試験区では表層5cmに対して20%(10L/m²)、B試験区では表層2cmに対して20%(4L/m²)を混入した。

表-1 試験区設定

Table 1 Establishment of plots.

試験区	表層基盤材	種子配合
A-表土区	ピートモス, バーク堆肥	現地表土のみ
B-表土区	客土材, 団粒剤, 連続繊維	現地表土のみ
A-種子区	ピートモス, バーク堆肥	市販種子のみ
B-種子区	客土材, 団粒剤, 連続繊維	市販種子のみ

表-2 種子配合

Table 2 Combination of seeds.

種子名	発生期待本数 (本/m ²)	配合率 (%)	播種量 (g/m ²)
アカメガシワ	20	12.5	3.56
ヌルデ	30	18.8	5.75
オオバヤシヤブシ	80	50.0	4.83
ヤマハゼ	30	18.8	33.36

市販種子の配合割合も現地表土区と同じくB試験区がA試験区の40%である。B試験区の種子配合を表-2に示す。

なお、前述2.2.1の導入工法と2.2.2の種子配合の組み合わせからなる4試験区の名称はA試験区の現地表土区は「A-表土区」、B試験区の市販種子区は「B-種子区」のようにし、以下、試験区の名称はこれに従うものとする。

2.3 調査方法

緑化施工後、2002～2003年度の2年間には、毎年梅雨中期の6月末、梅雨明け直後の7月末、落葉直前の10月末の3回、計6回、さらに施工後4年目の2005年には秋に1回のモニタリングを実施した。

表土区では試験区全域を対象に、4m² (幅1m×法長4m)のサブプロットを5つ設けた。種子区では中央に3m² (幅3m×法長1m)のコドラートを設置し、それぞれ植物群落の調査を行った。調査方法は次のようである。

①木本種は、試験区全域の全個体の樹高を測定し、草本種は試験区全体の最大・最小・平均草丈を求めた。②草本種については全草本の植被率を、木本種については樹種別に合計植被率を目視計測した。③木本のみの成立本数を樹種別に記録した。④木本種の根元直径を施工後4年目の調査の際、樹種別に測定した。

3. 結果

3.1 生育基盤材の違いが木本種の発芽・生長に与える影響

3.1.1 現地表土区の種組成

法面緑化試験で用いた表土採取地 (合計面積: 500m²) の毎木調査を行った結果、樹高1m以上の木本種は40種が確認された。一方、各表土区の法面では、土壌シードバンクから出現した種とともに周辺からの種子散布による自然侵入種と思われる種が認められた。2つの表土区別に施工後2年目の発芽状況⁵⁾と施工後4年目の種組成との比較を表-3に示す。

A-表土区では、出現種数は14種から11種となり、施工後2年目と4年目に共通して確認された種は8種であった。アカマツ、スダジイ、ハゼノキ、ガンピ、ヌルデの5種が消滅し、アカガシとマルバアオダモの2種が新しく出現した。成立本数は348本から170本 (8.5本/m²) に減少した。

B-表土区では、出現種数は逆に23種から26種に増加し、共通種は19種であった。カラスザンショウ、エゴノキ、ヤマコウバシ、ツルウメモドキの4種が消滅し、スダジイ、マルバアオダモ、ミツバアケビ、クロモジ、シキミ、タラノキ、ヤマハゼの7種が新しく出現した。成立本数は421本から267本 (13.4本/m²) に減少した。

施工後4年目において、表土採取地と試験区で確認された共通種は、A-表土区ではアカメガシワ、ヒサカキ、マルバアオダモ、リュウブの4種であり、B-表土区ではアカマツ、アカメガシワ、ガンピ、コナラ、シキミ、シロダモ、タラノキ、ヒサカキ、マルバアオダモ、ヤブツバキ、リュウブの11種であった。

表-3 施工後2年目と4年目の種組成

Table 3 Composition of seedlings 2 and 4 years after construction.

A-表土区	B-表土区
種名 (成立本数: 2年目/4年目)	
タニウツキ(271/134)	タニウツキ(163/97)
リュウブ(18/6)	リュウブ(122/57)
ネズミモチ(16/7)	ネズミモチ(17/27)
ヒメヤシヤブシ(9/3)	ヒメヤシヤブシ(18/15)
アカマツ(6/0)	アカマツ(16/2)
トベラ(6/2)	トベラ(11/11)
カラスザンショウ(4/2)	カラスザンショウ(13/0)
スダジイ(4/0)	スダジイ(0/3)
ヒサカキ(4/6)	ヒサカキ(5/3)
ハゼノキ(3/0)	ハゼノキ(3/3)
アカメガシワ(2/5)	アカメガシワ(4/7)
イヌザンショウ(2/1)	イヌザンショウ(1/1)
ガンピ(2/0)	ガンピ(3/1)
ヌルデ(1/0)	ヌルデ(1/3)
アカガシ(0/3)	
マルバアオダモ(0/1)	マルバアオダモ(0/3)
	シロダモ(17/16)
	コナラ(17/3)
	ヤブムラサキ(2/2)
	ノブドウ(2/2)
	ヒメユスリハ(1/1)
	ヤブツバキ(1/1)
	ウツキ(1/1)
	エゴノキ(1/0)
	ヤマコウバシ(1/0)
	ツルウメモドキ(1/0)
	ミツバアケビ(0/3)
	クロモジ(0/2)
	シキミ(0/1)
	タラノキ(0/1)
	ヤマハゼ(0/1)
成立本数合計(本/20m ²) (348/170)	(421/267)
出現種数合計(種/20m ²) (14/11)	(23/26)

注) 太字は施工後4年目のA・B表土区の共通種

下線で表した種は施工後4年目に新出した個体

表-4 表土区の多様度比較

Table 4 Comparison of diversity in topsoil plots.

区分	出現種数(木本の成立本数)					Simpsonの多様度指数				
	1列	2列	3列	4列	5列	1列	2列	3列	4列	5列
A-表土区	6(33)	4(49)	4(36)	4(31)	5(24)	0.67	0.29	0.25	0.29	0.36
B-表土区	10(37)	12(58)	8(42)	18(70)	12(60)	0.79	0.79	0.74	0.79	0.81

注) 出現種数・木本の成立本数ともに4m²当たりの値である。

表-5 表土区の生長指標比較

Table 5 Comparison of growth index in topsoil plots.

種名	最大樹高(cm)		最大根元直径(cm)	
	A-表土区	B-表土区	A-表土区	B-表土区
タニウツギ	180	180	1.95	2.17
ヒメヤシヤブシ	130	180	1.24	2.68
ヒサカキ	84	25	0.20	0.28
アカメガシワ	73	180	1.40	1.69
ネズミモチ	28	52	0.32	0.46
イヌザンショウ	16	18	0.18	0.74
トベラ	5	18	0.06	0.32

なお、表土採取地と試験区におけるSørensenの類似係数 $[2c/(a+b)]$ 、 a 、 b ：出現種数、 c ：共通種数]は、A-表土区が0.16、B-表土区が0.33であった。

また、施工後4年目におけるA-表土区とB-表土区との共通種にはアカメガシワ、イヌザンショウ、タニウツギ、トベラ、ネズミモチ、ヒサカキ、ヒメヤシヤブシ、マルバアオダモ、リョウブという先駆性樹種の9種が認められ、類似係数は0.49であった。

施工後4年目の表土区において、5つのサブプロット(1～5列、各4m²当たり)における出現種の多様度を比較した結果を表-4に示す。出現種に関する多様度の比較には、Simpsonの多様度指数(D)を用いたが、これは、 $D=1/\sum p_i^2$ で表される⁸⁾。ここで、 p_i は群集中の全種の個体数のうちで種 i が占める割合である。この指数は α 多様性・ β 多様性・ γ 多様性を正確に表現できる点で優れている⁹⁾。

多様度指数のA-表土区とB-表土区の平均値はそれぞれ0.37と0.79、標準偏差は0.17と0.03であり、独立サンプルのT検定をした結果、有意な差が認められた($p<0.05$)。

3.1.2 現地表土区の木本生育状況

施工後4年目におけるバイオマスの指標としてD²Hを求めするため、各表土区の共通種に関して最大樹高と最大根元直径を測定した結果を表-5に示す。樹高はヒサカキを除く6種でB-表土区のほうが大きかった。根元直径は全種においてB-表土区の値が高かった。しかし、D²Hについて対比較のT検定をした結果からは、A-表土区とB-表土区と間で有意な差は認められなかった($p=0.173>0.05$)。

また、木本植被率の合計はA-表土区とB-表土区でそれぞれ56%と59%であり、差はわずかであった。

3.2 市販種子区と現地表土区の比較

4種の先駆樹種(アカメガシワ、ヌルデ、オオバヤシヤブシ、ヤマハゼ)を導入した市販種子区で出現した種は、A-種子区ではオオバヤシヤブシ、ヤマハゼ、アカマツ、タニウツギの4種(導入：2種、自然侵入：2種)、B-種子区ではアカメガシワ、ヌルデ、オオバヤシヤブシ、ヤマハゼの導入種にタニウツギが加わった5種であった。

種子区における出現種数を表土区と比べると、A区で表土区対種子区が2.8:1(36.4%)、B区で5.2:1(19.2%)となり、極めて少なかった。

1m²当たりの木本の成立本数は、A区で表土区対種子区が9本:28本、B区で13本:15本となり、A区では差があったが、B区では差がわずかであった。

施工後4年目の木本の植被率は表土区で56%(A区)と59%(B区)、種子区で70%(A区)と89%(B区)となり、いずれの試験区でも順調な生育状況が確認できた。

一方、樹高と根元直径については表土区からは4年目も新しい実生が数多く出現したため、平均の樹高をそのまま表土区と種子区で比較することには問題があると考えられた。そのため、B区において共に確認された3種(アカメガシワ、タニウツギ、ヌルデ)についてD²H(cm³)をみると、表土区ではそれぞれ514、847、1036となり、種子区では220、350、1194であった(図-1)。それぞれの樹種についてT検定をした結果、表土区と種子区との間に有意な差は認められなかった($p=0.39>0.05$)。

4. 考察

4.1 表土利用と種子導入に対する評価

造成予定地における自然回復緑化方法として森林表土を用いた手法は、市販種子を導入する従来の手法に比べて、A区で2.8倍、B区で5.2倍の種数が確認され、明らかに種多様度が高かった。構成種の点からみて周囲と調和のとれた景観形成と高い種多様性が確認できたといえる。

図-1 表土区と種子区におけるD²Hの比較Fig. 1 Comparison of D²H in experiment plots.

また、木本の成立本数も4年目には1㎡当たり6.0本から17.5本(表-4)となり、密度の面においても先行事例¹⁴⁾と違いはなかった。

表土区では施工後2年目までは従来の工法に比べて、急速緑化などにおける緑化の評価基準¹²⁾である芝草幼苗本数密度や植被率などの量的な指標の点でやや劣っていた⁵⁾が、施工4年後になって有意な差はなくなり、むしろ多様・多層の植物群落が形成された。陣門ら³⁾は土壌シードバンクを用いると先駆樹種からなる植生を短い時間で成立させることができると報告しているがこの研究からも同様のことが明白になった。

種および景観の多様性に関する有利性に加えて順調な生育が示されたことから、現地表土利用は有効な自然回復緑化手法となりうると考えられた。

4.2 基盤材と種子層に対する評価

表層基盤に土を加えたB-表土区は、使用表土量が表層基盤にバーク堆肥とピートモス中心の有機質系基盤材を使用するA-表土区の40%であるにもかかわらず、表-3,4,5に示したように、植物の生長は優れていた。

このような結果がもたらされた理由として、2つの要因が考えられる。第一は、発芽可能な種子層の厚さに関する要因である。厚層基材吹付工により造成された生育基盤内の種子は、樹種による相違はあるものの、一般的に表層2~3cm程度の浅い位置から発芽する²⁵⁾。そのため、5cm厚で表土を吹き付けたA-表土区の場合には、2~3cm以深に混入された土壌シードバンクからの発芽が少なかった可能性がある。一方、2cm以浅の層に20%の表土が混入されたB-表土区では、5cm全層混入の場合と同等あるいはそれ以上の発芽が得られたと考えられる。さらに、2cm厚での吹き付けはコスト削減の効果もある²¹⁾ことが示唆された。

第二の要因は、耐侵食性が土壌添加工法より比較的高い²⁴⁾厚層基材吹付工法を用いたA-表土区では、侵食防止材が多用されたことにより、基盤の硬度が増し(山中式硬度計による測定値:21.7⁵⁾)、埋土種子が発芽障害を受けた可能性があることである。これに対して、接着繊維工法で表層を形成したB-表土区では、土を主な材料として用いたために表土との適応に優れ、団粒構造の発達により、埋土種子の発芽、生長に好影響を与えたと考えられる。

しかし、施工4年後の法面ではB-表土区のほうがA-表土区より侵食が顕著であることが目視により確認された。これは土壌を添加した生育基盤の耐侵食性が有機質基盤に比べて低く、造成した基盤の軟化が早まる傾向があるためである²⁴⁾と考えられる。

4.3 総括

表土を種子の供給源とする緑化工法は、周囲と調和のとれた景観形成と多様な先駆性樹種が優占する植物群落の形成を可能にし、写真-2のように立体感がある多層群落を作り出す。

しかし、施工後2年目までは認められなかったつる性木本のクズが施工後4年目になって出現した。法面にクズが繁茂する

と偏向遷移が起こり、正常な遷移は進行しない⁴⁾といわれる。このことから、省管理型の法面を目指す場合でも、クズやカナムグラのような求める植生遷移を妨げる植物が侵入、出現した場合には、これらの繁茂を抑制するための管理が必要であると考えられる。

表土採取地の木本種と法面における出現種との類似係数は0.16と0.33と低く、先行事例^{2,3)}と同様であったが、これは自然攪乱を受けた後、より早く発芽、生長する先駆樹種により形成された法面の植生と長い年月を経て植生遷移の中・後期に到達した植生との比較であることから当然の結果といえる。

今回の調査結果は施工4年後の段階での結果である。今後さらに追跡調査を継続し、斜面の安定と景観の形成を考慮しながら様々な角度から解析・評価してゆくことが必要である。

5. おわりに

土壌シードバンクを緑化に利用する場合、先駆樹種を播種したものと捉えてその発芽を期待することになる。それ以外の種に関して造成地周辺と同様の植生を早期に復元する必要がある場合には、植栽工を併用する必要がある。その場合には、周辺地域に自生する樹木から種子を採集し育苗した苗木を植栽する方法や根株移植などが求められるであろう。土壌シードバンク利用の緑化がもつ限界を積極的に補完していく必要がある。

自然回復緑化を行う際には、その地域の自生種を用いることを大前提にして、植生工にある播種工・植栽工・植生誘導工の3つの手段²²⁾をうまく利用することが重要である。すなわち、土壌シードバンク利用工法を中心として、自生種苗木栽や山採移植などを適宜併用することになる。一方、現地に数多く自生しているにもかかわらず、混入した表土から出現しない種については、施工地の基盤に再度攪乱を与えて埋土種子の発芽を促す¹⁵⁾手法も考えられる。また、地域固有種やそれに準じる種のような重要な種や、種子が小さいために埋土種子撒きだけでは発芽しにくい種⁵⁾については、自生種種子を樹木から採種して播種工に利用することも必要である。

近年、緑化現場においては様々な表土や土壌シードバンクを用いた自然回復緑化が行われているが、まだ確立された緑化技術にはなっていない。緑化技術として確立するためには、より多くの事例を調査してデータベース化し、この方法による植生遷移の推移、種や景観の多様性の変化、バイオマスの増加などに関して総合的に解析し、その有効性を解明することが必要である。

最後に、本研究においてもアメリカセンダングサ・オオアレチノギク・セイタカアワダチソウ・ヨモギなどの草本が生長し木本に影響を与えたと考えられるが、今回は木本植物の生育を主題としたことや紙面に制約があることなどの理由から、本報告では省略した。これについては、今後より詳しく研究成果を報告する。

写真-2 試験地の施工後4年目の様子

Photo 2 Conditions of sites 4 years after construction

本研究を行うにあたり多大な便宜を与えて下さった日本原子力発電(株)栗田道信氏ならびに関係諸氏、植物同定に対するご指導をして下さった笹木義雄氏に厚くお礼申し上げます。また、本研究は社団法人道路緑化保全協会の研究造成を受けて行われた。この場をお借りして御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Bradshaw, A. D. & Chadwick, M. J. (1980) The restoration of land. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 317pp.
- 2) 細木大輔・中村勝衛・亀山 章 (2005) 切土のり面緑化における植生基材吹付工を応用した森林表土の利用, 日本緑化工学会誌, 30(3) : 561-571
- 3) 陣門泰輔・佐藤治雄・森本幸裕 (2000) 森林表土播きだしによる荒地緑化に関する研究, 日本緑化工学会誌, 25(4) : 397-402
- 4) 亀山 章 (1983) 高速道路のり面の植生遷移に関する研究, 造園雑誌, 47(1) : 52-55
- 5) 高 政鉉・上田 徹・笹木義雄・森本幸裕 (2004) 造成地における森林表土を用いた自然回復緑化に関する試験研究, 日本緑化工学会誌, 30(1) : 15-20
- 6) Lande, R. (1996) Statistics and portioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76, 5-13
- 7) 宮本亜紀・谷口伸二・小畑秀弘 (2002) 表土シードバンクを吹付けに活用した施工事例の報告, 日本緑化工学会誌, 28(1) : 162-164
- 8) 宮下 直・野田隆史著 (2003) 群集生態学, 東京大学出版部, 187pp.
- 9) 永野正弘・梅原 徹 (1980) 森林表土のまきだしによる植生回復法の検討, 箕面川ダム自然回復の促進に関する調査研究, 大阪府, pp. 6-113
- 10) 中越信和 (1981) 再度山の森林群落における埋土種子集団の研究, 再度山永久植生保存地調査報告書第2回, pp. 69-94
- 11) 中村 剛・中村彰宏 (2003) 表土シードバンクを利用した施工事例の報告, 日本緑化工学会誌, 29(1) : 197-200
- 12) 日本道路協会 (1999) 道路土工—のり面工・斜面安定工指針, 470pp.
- 13) 日本緑化工学会 (2002) 生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言, 日本緑化工学会誌, 27(3) : 481-491
- 14) 小畑秀弘・谷口伸二・大貫真樹子 (2005) 表土シードバンクを吹付けに活用した施工事例(Ⅱ)—切土のり面における施工後3年の植生調査結果—, 日本緑化工学会誌, 31(2) : 284-287
- 15) Osumi, K. & Sakurai, S. (1997) Seedling emergence of *Betula maximowicziana* following human disturbance and the role of buried viable seeds. *Forest Ecology and Management*, 93, 235-243
- 16) 尾崎健一郎 (1995) 繊維補強土工法, 斜面・盛土補強土工法技術総覧編集委員会編, 斜面・盛土補強土工法技術総覧, 産業技術サービスセンター, pp. 403-421
- 17) Putwain, P. D. & Gillham, D. A. (1990) The significance of the dormant viable seed bank in the restoration of heathlands. *Biological Conservation*, 52, 1-16
- 18) 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, 日本緑化工学会誌, 29(4) : 509-520
- 19) Thomson, K., Bakker, J. P. & Bekker, R. M. (1997) The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity. Cambridge University Press, Cambridge, 276pp.
- 20) Thomson, K. & Grime, J. P. (1979) Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats, *Journal of Ecology*, 67: 893-921
- 21) 上田 徹・高 政鉉・森本幸裕 (2005) 自然公園区域における既存林修復の可能性試験(Ⅱ)—森林表土吹きつけ試験—, 日本緑化工学会誌, 31(1) : 103-106
- 22) 山寺喜成・安保 昭・吉田 寛 (1993) 自然環境を再生する緑の設計—斜面緑化の基礎とモデル設計—, (社)農業土木事業協会, 169pp.
- 23) 山寺喜成・堀江保夫・倉田二郎 (1976) 亜高山地帯における緑化復元に関する試験的研究—富士スバルライン沿線の緑化復元の試験—, 緑化工技術, 3(2) : 1-32
- 24) 吉田 寛 (2002) 厚層基材吹付工による木本植物の混播技術に関する研究, 日本緑化工学会誌, 27(4) : 594-604
- 25) 吉田 寛・古田智昭・伊藤健一・高柳浩樹 (2004) 国内産自生種子の有効利用とコストダウンを図る厚層基材吹付工2層吹付システム, 日本緑化工学会誌, 29(3) : 438-445

(2006. 7. 6 受理)