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実験研究

高 政鉉¹⁾・上田 徹²⁾・笹木義雄¹⁾・森本幸裕¹⁾

1) 京都大学大学院地球環境学舎・学舎 Grad. Sch. of Glob. Env. Studies, Kyoto Univ. jhkoh31@j01.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

2) (株)関西総合環境センター KANSO Corporation

摘要：近年、多くの造成地において単なる防災や緑化にとどまらず、自然回復緑化が求められることが多くなってきている。本研究では、自然公園区域におけるミティゲーションが求められている造成予定地において、森林表土を用いた吹付実験研究を行い、この手法が生物多様性を確保できる手法として有効かどうかを検討した。森林表土を用いた法面において、表土採取地に自生していた木本種のうち27種（51%）の発芽が確認され、更に、出現の経緯を明確にできない木本の10種が認められ、構成種の面で周囲と調和のとれた景観形成および生物多様性の確保の可能性が示唆された。
キーワード：自然回復緑化、生物多様性、ミティゲーション、埋土種子、森林表土

KOH, Jeung-hyun, UEDA, Toru, SASAKI, Yoshio and MORIMOTO, Yukihiro:
Experimental study using forest topsoil for natural environmental revegetation method in constructed area

Abstract : Recently, natural environmental revegetation is demanded more often in many constructed areas for protection of nature and restoration of the ecosystem. This paper sets forth the comparative experimental research using forest topsoil that is recently drawing attention, in the study site of the nature park zone where mitigation is called, to determine whether the method is effective as a natural environmental revegetation technique capable of preserving biodiversity. In the experimental slopes, it was checked to revegetate up to 51% of the native forest vegetation; moreover ten species of woody plant from surrounding were present. This suggests that it would be possible to make landscape and preserve biodiversity by using this method.

Key words : Natural environmental revegetation, biodiversity, mitigation, seed bank, forest topsoil

1. はじめに

21世紀は、「環境の世紀」といわれており、自然を如何に保全し、破壊された自然をどのように回復させるかは人類にとって大きな課題となっている。緑化工学の分野においても、地球環境問題のひとつとして、生物多様性の危機の実態が明らかになるにつれ、生態系の保全や生物多様性の保全への貢献が求められるようになってきた^{12,21)}。また、これまで単に緑化の成果を緑被率や侵食防止機能の視点のみから評価してきたことに対して、問題視するようになりつつある。

こうした流れを受けて、道路や住宅地などの建設事業に伴う造成工事、工場や発電所などの産業開発に伴う環境保全、崩壊地や荒廃した森林の復元、都市の中のビオトープの造成など、多くの造成地において単なる防災や緑化にとどまらず、自然回復緑化が要求されることが多くなってきている^{7,13)}。

近年、郷土の自然と遺伝子資源の保全を目的とした緑化工法のひとつとして造成工事の際に採取可能な現地の埋土種子、いわゆる土壌シードバンクを利用した緑化工法が脚光をあびつつある。

このような工法を用いた先駆的事例としては、自然公園区域に建設された大阪府箕面川ダムにおいて、ダム建設によって破壊される森林の表土をあらかじめ採取して保存しておき、それを工事後に裸地化した斜面に撒き出して、表土を戻した場所ではアカメガシワをはじめとする埋土種子起源の先駆低木種が成長し、早期に低木林を形成した事例²⁰⁾が有名である。

一方、森林表土を用いた施工方法としては、①周辺の森林から採取した森林表土を撒き出す伝統的な方法^{10,16)}、②表土を客土吹付け工の吹付材料として用い、接合剤などを配合して法面に吹付ける方法^{11,19)}、③表土を土嚢袋に詰めて用いる方法²²⁾、さらに、新たな工法として④森林表土をできるだけ

攪乱せずに造成緑地に移植する表土移植工法¹⁸⁾などが行われている。なお、この表土移植工法は、表土マットの状態で法面に貼り付ける表土マット移植工法という工法にも発展している²³⁾。

こうした埋土種子を用いた方法は、①早期に種の多様性に富む植物群落を形成できる⁵⁾、②地域固有の遺伝子プールを持つ木本群落の形成ができる¹⁰⁾、③現場発生土のリサイクルが可能である、等の利点を持ち、最先端の優れた植生回復方法として評価されている⁷⁾。

しかし、問題点もあり、表土中の埋土種子の種組成および密度が未知であり成立する群落像、木本の成立密度の予測が困難であること、適切な土壌採取地、採取時期、採取深度が明らかでないこと、表土採取に多大な労力がかかることなどがあげられる¹⁰⁾。また、種子を含む表層土の有効活用のため下層基盤との組み合わせ方法、表土導入法、施工、およびその後の維持管理でどのような品質管理を行っていかばいいか、などについてもまだ定見はない。

そこで、森林表土を用いた岩盤急傾斜の切土のり面の植生回復に対する施工方法を検討するために、環境アセスメントでミティゲーションが要求されている自然公園区域における造成予定地の切土法面に対して、いくつかの繊維補強土工法を用いて基盤を造成し、森林表土を表層に施工する手法を試験施工した。本論文では施工後2年間の成立する植物群落について経年的に調べ、特に木本の成長について分析し、周辺林の自然回復を図る手段としてこの工法の効果を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 実験場所

実験は福井県敦賀市の既設切土法面で行った。造成予定地の周辺は、陸域が若狭湾国定公園の第2種特別地域、海面が普通地域に指定されている自然海岸である。

表土の採取地周辺の植生は、大部分がユキグニミツバツジアカマツ群集、オクチョウジザクラコナラ群集、クロマツ植林地の3植生単位であり、更にこれらの地域の一部には、ヤブコウジースダジイ群集に属する孤立樹林も確認されている。その主要構成種は、常緑林では、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。これら植生分布は、海岸沿いの里道を境にその上下で異なり、ユキグニミツバツジアカマツ群集やオクチョウジザクラコナラ群集は内陸斜面に、クロマツ植林地は海岸側斜面に位置している。

現存植生の木本種と法面緑化実験での発芽種との類似性を比較することを目的とし、表土採取候補地である10箇所において毎木調査を実施した。

調査方法は、各調査地点において、10m×10mの方形区を

表-1 実験地の概要

Table 1 Site characteristics.

実験場所	造成予定地構内の既設モルタル法面
面積	合計80㎡ (1区20㎡×4パターン)
方位	北北西
土壌硬度	16~34 (山中式土壌硬度計による測定値)
土質	花崗岩風化土~軟岩
勾配	平均49.25° (45.0° ~52.0°)
周辺植生	アカマツ、コナラ等の二次林
その他	秋から冬場にかけて、強風が本道路を吹き抜ける。

設置し、方形区内における樹高1m以上の木本種を対象に、樹種名を同定・記録すると共に、胸高直径を測定した。

現地表土は、2001年10月に上記した表土採取候補地からNo.2地点(ユキグニミツバツジアカマツ群集)を選定し、表面のA₀層の落葉層を除去した上で、その下のF、H層からA₁層まで(概ね5.0cm内外)を人力で採取した。採取深は、シードバンクの量が多く、腐植も多くて緑化実験に最適であるという先行研究^{1,2,3,5)}を参考にして決定した。

採取地の選定は、①将来の改変予定区域内であり、表土採取による新たな自然破壊を起さない場所である、②樹林の立木密度が高い場所である、③斜面中・下部に位置し、埋土種子のポテンシャルが高いと判断される場所である、④比較的緩傾斜地である、⑤ウラボシやササ等の地被植物が繁茂していない、こと等を考慮して行った。

採取した表土は、「20.／1袋」を目安として土嚢袋に詰め、対象地域内の溪流地の比較的冷涼な日陰地まで運搬し、施工までの約1ヶ月間常温保管を行った。

2.2 施工方法

施工は、2001年10月27日に既に設けられていたモルタル吹付面を解体・撤去した後、同年11月下旬に、新たに繊維補強土工法¹⁵⁾をまず施工し、その上に厚層基材吹付緑化工を実施した。施工地の概要を表-1に示す。

施工工法の選定にあたっては、①造成計画では急傾斜の切土が予定されており、その前方に埋め立て造成が予定され、さらにその前から吹いてくる強い海風の影響に耐える植物群落のための厚い生育基盤が必要である、②自然公園区域内の造成地において、景観・法面安定の面で適用可能な工法である、③土地造成の際に発生する残土をなるべく再利用できる、④十分な支持強度を持ち、地山の崩れや、侵食などに対して耐えられる、等を総合的に検討した上で土と繊維を主な材料として用いる繊維補強土工法^{15,17)}を選定した。

実施工法は、①連続繊維複合補強土工法(20cm厚の下層基盤+5cmの表層)、②長繊維混入補強土一体緑化工法(20cm厚の下層基盤+5cmの表層)、③接着繊維工法(下層基盤なし+8cm厚の表層のみ)、④併用工法(下層:20cm厚で①工法の下層基盤+表層:5cm厚で③工法)であり、1つの実験区の面積

は20m²「5m(横) × 4m(縦)」とした。

接着繊維工法を単独で施工した理由は、20cmの下層基盤がなくても8cmの厚層基材吹付け工法のみで1:0.8の急傾斜法面における植物が生育できるかどうか、他の工法に比べて基盤が薄いことから懸念される基盤侵食の問題などが発生するか否かを確認するためである。

また、連続繊維複合補強土工法と接着繊維工法を組み合わせた併用工法を施工した理由は、同じ下層基盤の条件で異なる厚層基盤材を比較し、表層の吹付け仕様としての適性を評価するためである。

表土の混入率は、①工法および②工法では表層5cmに対して20%配合し、③および④工法では表層2cmに対して20%を配合した。それぞれの工法の吹付け施工方法が違ふことから、各工法の施工品質を確保するために異なる混入率を設定した。

2.3 調査方法

調査は、梅雨入り前・梅雨明け直後・落葉直前の年間3回の頻度で、2002年6月から2003年10月までの間に合計6回実験区全域において実施した。調査項目は次のようである。

(1)植物関連項目：①樹高および草丈測定（木本種については、実験区全域において樹種別に全個体の樹高を測定してそれから最大・最小・平均値を求めた。草本種については実験区全域を対象として、実験区全体の最大・最小・平均草丈を求めた。）、②植被率（草本種については全草本植被率を目視計測し、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成立本数（木本のみ樹種別に記録した。）

(2)基盤関連項目：①土壌硬度（山中式土壌硬度計を用いて計測し、それぞれの実験区当たり10回の計測から平均値を求めた。）、②pH測定（各工法の吹付け基盤の植栽基盤としての土壌の反応⁸⁾を把握するため、2003年7月—梅雨明け直後—に、それぞれの実験区の下層基盤と表層に対して2回の計測から平均値を求めた。また、この測定は現場とともに、より精密な結果を得るために、室内の実験室でも行った。）、③pF実験（各工法の吹付け基盤の保水力を把握するために、2002年10月30日に、実験区の中心線上の上段・中段・下段の3箇所から表層5cmの厚さで表層基盤をサンプリングし、採取した計12個のコア試料を約1ヶ月間低温保管した後、加圧板装置を用いてpF2.7 - 500cmH - までの圧力をかけ試料重量を計測した。）。

3. 結果

3.1 表土採取地の植生と法面実験での発芽種

表土採取予定地は、前述した10箇所（No.1,2,6,8,10：ユキグニミツバツツジ—アカマツ群集、No.3,5：オクチョウジザクラ—コナラ群集、No.7,9：クロマツ群集、No.：ヤブコウジ—スダジイ群集）であり、法面緑化実験ではNo.2地点から採取した表土を用いた。表土採取地の植生としては、No.2地点と同様の群集であるユキグニミツバツツジ—アカマツ群集の

No.1,2,6,8,10地点（合計面積：500m²）の植生を現存木本種とした。

また、各法面では、埋土種子から出現した種とともに周辺からの侵入種と思われる種が認められ、4つの工法区別に記録した。その結果を表-2に示す。

表土採取地の毎木調査で出現した木本種は40種、法面施工地で発芽したのは37種であった。植生と吹付け実験の双方で出現した種は、アカマツ、アカメガシワ、エゴノキ、ガンピ、クロモジ、コナラ、ゴンズイ、シキミ、シロダモ、ソヨゴ、タラノキ、ヒサカキ、ヤブツバキ、リュウブの14種であった。

いずれの法面にも出現しなかったのは、26種で、その中には、群落の標徴種や区分種であるユキグニミツバツツジやネジキ、ツクパネウツギ、また地域固有種或いはそれに準ずる種であるキンキマメザクラやヤマモモ(北限)などが含まれている。

なお、植生調査出現種のうち、個体成立本数が多いにも関わらず、全く発芽が確認されなかったサカキ、マルバオダモ、タブノキ、ヤマツツジ、アセビ、クリなどの種については、表土中に埋土種子が含まれていない、個体として存在しても種子生産を行っていない、種子生産を行っているが土壌採取時には生存種子がない、法面の吹付け実験で発芽が抑制された、などの可能性がある^{7,10)}と考えられる。

特にツツジやサクラ類は、種子が小さいために埋土種子撒きだしではなかなか発芽しにくい種であり、開花が十分促進されなければ結実しないことなどを考えると、ユキグニミツバツツジやキンキマメザクラについては、将来改変が予定されている範囲内において予め既存林を除間伐するなど、開花結実を促進するための側面からのサポートが必要である。

一方、埋土種子を含めた現存植生の構成種としては、毎木調査の40種に加え、法面実験から出現した種のうち周辺植生である13種（イヌザンショウ、カラスザンショウ、キブシ、スダジイ、タニウツギ、ヌルデ、ノブドウ、ヒメヤシャブシ、ヒメユズリハ、ミツバアケビ、ムラサキシキブ、ヤブムラサキ、サルトリイバラ）を含めて考えるべきである。これらの13種は周辺から他種の侵入がない温室内で同様の表土を用いて行ったポテンシャル実験⁷⁾においても発芽した種であるため、それらの種は毎木調査の際には記録されなかったが、埋土種子個体群として発芽能力を持っていた木本種であったと言える。

以上の結果、表土採取地の植生と法面実験ともに出現した種は、現存植生の構成種53種の中の27種、51%であった。さらに、埋土種子起源か周辺からの侵入種かを明確にできない木本の10種（イタチハギ、ウツギ、スノキ属の一種、ツルウメモドキ、トベラ、ナワシログミ、ネズミモチ、ネムノキ、ハゼノキ、ヤマコウバシ）が確認された。

3.2 植物関連項目の結果

樹高については、施工2年後には③工法区：27.1cm、④工法区：24.1cm、①工法区：17.1cm、②工法区：10.9cmの順

表-2 表土採取地の植生と法面実験で発芽した種

Table 2 Vegetation in basal area and seedling in the experiment plots.

種名(個体数:採取地/実験)	①工法区	②工法区	③工法区	④工法区
リュウブ(89/438)	◎(1)	◎(1)	◎(1)	◎(1)
ヒサカキ(46/19)	◎(1)	◎(2)	◎(2)	◎(2)
コナラ(38/18)	-	◎(1)	◎(1)	◎(4)
アカマツ(35/50)	◎(1)	◎(1)	◎(1)	◎(1)
ヤブツバキ(32/6)	-	◎(6)	◎(6)	◎(6)
ソヨゴ(25/2)	-	-	◎(1)	-
シキミ(15/3)	-	◎(4)	-	-
シロダモ(8/37)	-	◎(2)	◎(2)	◎(2)
クロモジ(7/1)	-	-	-	◎(1)
ガンビ(5/8)	◎(1)	◎(1)	◎(1)	◎(1)
タラノキ(5/1)	-	-	-	◎(1)
ゴンズイ(3/5)	-	◎(4)	◎(2)	-
アカメガシワ(1/20)	◎(1)	◎(1)	◎(1)	◎(1)
エゴノキ(1/2)	-	-	◎(5)	◎(4)
タニウツギ(-/852)	○(1)	○(1)	○(1)	○(1)
ヒメヤシャブシ(-/158)	○(1)	○(1)	○(1)	○(1)
ネズミモチ(-/73)	○(3)	○(3)	○(1)	○(2)
カラスザンショウ(-/72)	○(1)	○(1)	○(1)	○(1)
トベラ(-/32)	○(6)	○(5)	○(4)	○(5)
イヌザンショウ(-/10)	○(1)	○(1)	○(1)	○(5)
ハゼノキ(-/8)	○(5)	○(6)	○(5)	○(5)
スタジ(-/7)	○(6)	○(3)	○(2)	○(4)
サルトリイバラ(-/6)	○(4)	○(4)	○(1)	-
ノブドウ(-/6)	○(1)	○(1)	○(1)	○(1)
スノキ属の一種(-/5)	-	○(6)	-	-
ミツバアケビ(-/5)	-	○(6)	○(5)	○(5)
ヤブムラサキ(-/4)	-	-	○(4)	○(2)
ヤマコウバシ(-/4)	-	○(2)	○(5)	○(2)
ヌルデ(-/3)	○(3)	○(4)	-	○(2)
ムラサキシキブ(-/3)	-	-	○(2)	-
キブシ(-/2)	-	○(4)	○(3)	-
ヒメユズリハ(-/2)	-	-	○(2)	○(2)
イタチハギ(-/1)	-	-	-	○(2)
ウツギ(-/1)	-	-	-	○(2)
ツルウメドモキ(-/1)	-	-	-	○(3)
ナワシログミ(-/1)	-	-	-	○(5)
ネムノキ(-/1)	-	-	-	○(2)
サカキ(69/-)	X	X	X	X
マルバアオダモ(15/-)	X	X	X	X
ヤマツツジ(7/-)	X	X	X	X
アセビ(6/-)	X	X	X	X
クリ(5/-)	X	X	X	X
タンナサワフタギ(5/-)	X	X	X	X
ウラジロノキ(3/-)	X	X	X	X
カスミザクラ(3/-)	X	X	X	X
キンキマメザクラ(3/-)	X	X	X	X
シャシャンボ(3/-)	X	X	X	X
ヤブニッケイ(3/-)	X	X	X	X
ヤマモモ(3/-)	X	X	X	X
タブノキ(2/-)	X	X	X	X
ツクバネウツギ(2/-)	X	X	X	X
ネジキ(2/-)	X	X	X	X
ネズミサシ(2/-)	X	X	X	X
ミヤマガマズミ(2/-)	X	X	X	X
モチノキ(2/-)	X	X	X	X
ユキグミツバツツジ(2/-)	X	X	X	X
アオハダ(1/-)	X	X	X	X
クロマツ(1/-)	X	X	X	X
コバノガマズミ(1/-)	X	X	X	X
ナツハゼ(1/-)	X	X	X	X
ヤマザクラ(1/-)	X	X	X	X
ヤマボウシ(1/-)	X	X	X	X
ユズリハ(1/-)	X	X	X	X

注) ○: 法面実験のみ出現

◎: 採取地および法面実験で出現

X: 採取地のみに出現

-: 出現しなかった種

出現表示の右の括弧中の数字は初出時期(回目)を示す。

図-1 樹高成長の経時変化

Fig. 1 Temporal changes in height of tree.

に大きく、従来の工法の報告に比べると多少劣っていた。樹高成長の経時変化を図-1に示す。

出現種については、④工法区の23種を筆頭に、何れも10種以上が確認された。出現した木本種については全実験区に対して出現種数と種組成の均等さを用いて種の多様性を比較し、その結果を表-3に示した。なお、出現種に関する多様度の比較では、Simpsonの多様度指数 (D) を用いたが、これは、 $D=1/p^2$ で表される^{6,9)}。ここで、 p 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。この指数を用いた理由はSimpsonの多様度指数が、 α 多様性・ α 多様性・ α 多様性を正確に表現できる点で優れている^{6,9)}とされているからである。

3.3 基盤関連項目の結果

(1)土壌硬度

吹付基盤硬度の測定結果を見ると、最低は④工法区の11.6で、③工法区の13.3がこれに続く。一方、①工法区、②工法区は21.7、23.8であり、前者に明らかな差が認められた。緑化事業における植栽基盤マニュアル¹⁵⁾によると、③と④工法の実験区は、根系発達に障害がなく良好な基盤であり、

表-3 実験区が多様性比較

Table 3 Comparison of diversity in the experiment plots.

区分	出現種数						Simpsonの多様度指数					
	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回
	2002/06/20	2002/07/30	2002/10/30	2003/06/17	2003/07/24	2003/10/27	2002/06/20	2002/07/30	2002/10/30	2003/06/17	2003/07/24	2003/10/27
①工法区	10	9	10	10	13	14	0.251	0.263	0.150	0.226	0.275	0.387
②工法区	11	13	11	16	17	21	0.621	0.664	0.469	0.519	0.681	0.749
③工法区	15	15	15	16	21	18	0.550	0.583	0.573	0.586	0.615	0.704
④工法区	12	20	17	18	25	23	0.598	0.624	0.609	0.661	0.687	0.756
平均	12	14	13	15	19	19	0.505	0.533	0.451	0.498	0.565	0.649

①と②工法の実験区は根系発達阻害をひき起こす場合の考えられる基盤である。

現状のモニタリング結果と土壌硬度の値を比較すると、表層基盤に土を入れた③と④工法実験区はどれも土壌硬度の値が低いのにに対し、表層基盤にパーク堆肥中心の有機質系基盤材を使用する①と②工法実験区は、土壌硬度の値が極めて高いことが判る。一般的に厚層基材吹付工法では、表面浸食を防止するために粘着材が使用される。しかし粘着材を多用し過ぎると、基盤全体が硬化し、特に表面がコーティングされることから、種子は多大な発芽障害を受けることになるのが原因ではないかと考えられた。

(2)pH測定

実験区の下層基盤と表層に対して現場と研究室の両方で行った2回の計測の平均値を求めた。その結果は以下のとおりである。①工法区は、下層（6.1：弱酸性⁸⁾）および表層（5.7：中酸性）ともに土壌分析結果の分級上、1(優)と判定¹⁴⁾された。②工法区は、下層（8.0：弱アルカリ性）および表層（7.2：弱アルカリ性）ともに同じ分級上、2(良)であった。

この程度のアルカリ性は植物の生育に問題はなく、逆に酸性の土壌が多い自然の状況の中において、中性土壌に中和されるなどの良い側面があると考えられる。

③と④工法の実験区は下層および表層ともに6.7から7.0の間であり、弱酸性の植物に対して良い基盤(優)と確認された。

(3)pF実験

pF2.7における含水率は、②工法区：57.99%、③工法区：53.08%、①工法区：52.19%、④工法区：46.99%の順で大きく、細孔隙が多いことが判った。一般に樹木の生育基盤としては、粗孔隙に富んだ団粒構造が好ましいことから、木本の生育基盤としては、④工法区が最も適性度が高いと言え、逆に②工法区は他の実験区に比べて、根を張ることが極めて困難な粗孔隙率の低い基盤であることが判る。また、過剰水が排水されてから毛管切断点までの値(pF1.5~2.7)は、①工法区：6.65%、④工法区：6.38%、③工法区：5.70%、②工法区：5.67%の順に高く、②工法の実験区は細孔隙が多いため、大きい圧力をかけても過剰水が十分排水されないことから、これについても④工法実験区の適性度が高い⁴⁾ことが伺える。

3.4 各工法区の比較

表土の混入量は、①と②工法の実験区が200ℓ（5cm厚さで20%）であったのに対して③と④工法の実験区は80ℓ（2cm厚さで20%）と異なる。しかし、表-4に示したように、接着繊維工法を表層に吹付けた③と④工法の実験区における評価の方が、8つの比較項目のなかで植被率の項目を除いた7つの項目について上位であった。

この原因を現段階で特定することはできないが、①と②工法区に混入された表土のなかで2cmよりも深く混入された表土の多くは発芽が極めて困難であったのに対し、③と④工法の実験区は2cm厚さであり適度な発芽・成長ができた、厚層基盤材吹付け工法を施工した①と②実験区は、表面浸食を防

表-4 実験区の評価

Table 4 Valuation of the experiment plots.

区分	植物関連項目 (6回目)			
	平均樹高 (cm)	植被率 (%)	出現種数 (種)	多様度 指数 成立本数 (株)
①工法	17.1	45	14	0.387 348
②工法	10.9	8	21	0.749 333
③工法	27.1	19	18	0.704 739
④工法	24.1	34	23	0.756 421

区分	基盤関連項目		
	土壌硬度 (3回目)	pH測定(表層) (5回目)	pF2.7の含水率 (%・3回目)
①工法	21.7	5.7	52.19
②工法	23.8	7.2	57.99
③工法	13.3	6.8	53.08
④工法	11.6	6.7	46.99

止するために用いられた粘着材の過多により基盤全体が硬化し、埋土種子が発芽障害を受けた、接着繊維工法を表層に吹付けた③と④の実験区は、団粒構造を造りやすいために埋土種子の発芽・成長に好影響を与えた、厚層基盤材の混入材としてパーク堆肥などを使う①と②工法の実験区に対し、土を主な材料に用いる接着繊維工法においては、表土中の埋土種子により生育環境を与えた、などの可能性が考えられる。

しかし、今回の調査結果は施工2年後の段階での結果であるため、今後更に追跡調査を継続し、様々な角度から解析・評価してゆくことが必要である。

4. 考察

造成地において建設に伴う自然破壊を受けた現存植生に類似した植生を復元する方法として、森林表土を用いた手法は、種および景観の多様性にポイントを置いて判断すると、有効であったといえる。それは森林表土を利用することが目的であり、埋土種子という形でその表土が内包する自然な植生の姿を引き出す可能性が確認できたからである。また、この実験において多くの木本種・草本種が発芽し、かつ順調な生育を示したことから、この方法は少なくとも自然環境復元手法となりうると考えられた。

一方、造成予定地への森林表土を用いた工法の自然回復緑化手法としての適合性を検討する目的で行った法面緑化実験は、出現種数について、表土採取地の植生と思われる種に対して51%の27種の発芽・成長が確認され、さらに、出現の経緯を明確にできない木本の10種が認められた。構成種の面において周囲と調和のとれた景観形成と種多様性の確認の可能性が指摘できる。なお、毎木調査出現種のうち、この手法で発芽が確認されなかった種については、今後も追跡調査を継続しながら別の対策を検討し、改変前の生物多様性をもつ植生復元を追求すべきであると考えられる。

しかし、従来の工法に比べると、これまでの急速緑化などにおける緑化の成否の評価基準である発芽成立した芝草幼苗

本数密度や植被率などの量的な指標からみると、今回の調査結果はやや劣っていた。

最後に、自然環境復元を行う際、①もともとの種多様性を確保する、②急速に緑にすることを目標とするのではなく、もとの生態系を目標とする、③植生や地形などを含む、④もとの生態系は非均質 (heterogeneous) なものであるため、同じ基準および方法を用いることは避ける、などが必要と思われる、埋土種子利用はこれに貢献すると考える。

一方、本実験において不足あるいは問題点とされることもあった。それらには、

①連繊維複合補強土工法と接着繊維工法の併用工法実験区では良い成績が示されたが、その一方で、長繊維混入補強土一体緑化工法と接着繊維工法の併用工法を施工するとどのような結果が出てくるかを判断するための実験区がなかったこと、②2年間の追跡調査の結果から判断する際、植物の成長の違いを表層の違いによるものとして考えるかあるいは基盤の影響として考えるのか、を追求し得なかったこと、等がある。

本研究を行うあたり多大な便宜を与えて下さった福井県敦賀市内の造成予定地の関係諸氏ならびに本論文に対するご指導をして下さった同じ大学院の柴田昌三先生に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Arevalo, J.R., Fernandez-Palacios, J. M. (2000) Seed bank analysis of tree species in two stands of the Tenerife forest(Canary Islands), *Forest Ecology and Management*, 130 : 177-185
- 2) Ashton, P.M.S., Harris, P.G. and Thadani, R. (1998) Soil seed bank dynamics in relation to topographic position of a mixed-deciduous forest in southern New England, USA, *Forest Ecology and Management*, 111 : 15-22
- 3) Augusto, L., Dupouey, J.L., Picard, J.F. and Ranger, J. (2001) Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native forest vegetation, *Acta Oecologica*, 22:87-98
- 4) 土壌物理性測定法委員会編 (1976) 土壌物理性測定法, 養賢堂, pp.134-159
- 5) 細木大輔・米村惣太郎・亀山 章 (2002) 森林表土を用いて緑化したのり面における初期の木本の生育, *日本緑化工学会誌*, 28(1) : 73-78
- 6) 伊藤嘉昭・佐藤一憲 (2002) 種の多様性比較のための指数の問題点—不適当な指数の使用例も多い—, *生物科学*, 53 : 204-220
- 7) 高 政鉉 (2004) 造成地における自然環境復元手法に関する実験研究, 修士論文, 59pp.
- 8) 林 善旭 著 (1992) 土壌学通論, 文運堂, 383pp.
- 9) 宮下 直・野田隆史著 (2003) 群集生態学, 東京大学出版部, 187pp.
- 10) 中村彰宏・衣笠斗基子・陣門泰輔・谷口伸二・佐藤治雄・森本幸裕 (2002) 埋土種子、種数、多用度指数—面積曲線による森林表土撒き出し緑化の評価, *日本緑化工学会誌*, 28(1) : 79-84
- 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) 中野裕司 (2000) 切土法面の緑化現場からの郷土種問題, *日本緑化工学会誌*, 26(2) : 92-100
- 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) 日本造園学会 緑化環境工学研究委員会 (2000) 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル, ランドスケープ研究, 63(3) : 224-241
- 15) 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
- 16) 佐藤治雄・堤 光・森本幸裕・滝川幸伸 (1999) 森林表土撒き出しによる荒地緑化に関する基礎研究, ランドスケープ研究, 62(5) : 521-524
- 17) Sotir, R.B., Christopher, B.R. and Cowland, J.W. (2002) Vegetated reinforced soil slopes, *Geosynthetics-7th ICG-Delmas*, 635-640
- 18) 高橋輝昌・生原喜久雄・峰松浩彦 (2001) 森林移植工法により造成された皇居東御苑の雑木林土壌の理化学的性質の変化, *日本緑化工学会誌*, 27(2) : 430-435
- 19) 上杉章雄・中村彰宏・佐藤治雄・森本幸裕 (2001) 埋土種子を利用した吹付緑化工の試験施工および植物生育結果, *日本緑化工学会誌*, 27(1) : 296-299
- 20) 梅原 徹 (2001) ダム建設, 森本幸裕・亀山 章編著, ミティゲーション—自然環境の保全・復元技術—, ソフトサイエンス社, pp.310-324
- 21) 渡邊綱男 (2002) 新・生物多様性国家戦略, ランドスケープ研究, 66(2) : 112-115
- 22) 養父志乃夫・山田宏之・中島敦司・中尾史郎・松本勝正 (2000) 土嚢袋を用いた表土利用型法面緑化工法の評価, ランドスケープ研究, 63(5) : 447-450
- 23) 梁川俊晃・柴田昌三・上村恵也・徳永正夫・衣笠斗基子 (2003) 表土マット移植工法を用いた法面緑化に関する調査研究, *日本緑化工学会誌*, 29(1) : 265-268

(2004.6.19 受理)