成立植生から評価した尾根部の切土法面における播種工の成果

細木大輔^{*1)}・中村勝衛²⁾・亀山 章³⁾

1) 独立行政法人 農業環境技術研究所 National Ins. for Agro-Envi. Sciences

2) 日本植生株式会社 NISSHOKU Co.

3) NPO 法人 地域自然情報ネットワーク Specified Nonprofit Co. The Geocol. Conservation Network

摘要：乾燥しやすい尾根部の岩盤切土法面に播種工を施工し、成立した植物群落をもとに緑化目標達成の観点から各工法の成果について比較した。工種は、植生基材吹付工、植生マット工、植生基材注入工を採用した。短期的な目標はいずれも先駆性樹種が優占する群落とし、長期的な緑化目標として、周辺植生からの侵入種で構成される低木群落と、播種導入する堅果類が優占する低木群落の2つを設定して、それぞれに合わせて種子配合した。成立した植物群落について施工後8年間にわたり継続的に調査した結果、堅果類を配合した植生マット工と植生基材注入工では、8年目に堅果類が優占する低木群落が成立したことが確認できた。これら2つの施工当年の被覆率は17.0%以下と低かったが、これらは繊維で法面を覆う工法であり、工法の素材自体に侵食防止効果が備わっていたため施工直後に侵食が問題となることはなく、長期的には緑化目標に合致する良好な法面植生が成立した。これら2つの工法を比較した際には、被覆率の増加速度と、播種導入した堅果類の個体数の多さ、および成長の良さから、植生基材注入工の方が優れていたと判断された。

キーワード：堅果類、緑化工、先駆性木本、植生基材注入工、植生基材吹付工、植生マット工

HOSOGI, Daisuke, NAKAMURA, Katsue and KAMEYAMA, Akira, **Evaluation of sowing revegetation methods using established plant communities on an artificial cut slope at a ridge point.**

Abstract: Revegetation on an artificial bedrock cut slope of a dry ridge area was evaluated from the aspect of target plant communities. Adaptability of the sowing revegetation methods and artificially introduced species were investigated. Shrubs consisted of species invading from surrounding vegetation, and introduced nut-bearing species were set as long-term targets of revegetation. The growth material spraying method, mat method, and the growth material injection method were chosen to accomplish the targets, with seeds arranged for each target. The plant communities formed were researched continuously for eight years. The nut species plots from the mat and growth material injection methods formed the target communities in the eighth year. In the first year, these experimental plots had low coverage ratios of <17%; however, target communities were formed. These revegetation methods were highly erosion-proof; no erosion problems were encountered in the beginning after construction when the coverage ratios were low. It is concluded that the growth material injection method was superior to the others and was most reliable for forming shrub-dominated nut species with increased cover speed, a higher number of individual nut-bearing species, and vigorous growth.

Key words: nut-bearing species, revegetation technology, pioneer woody species, growth material injection method, growth material spraying method, revegetation mat method

1. はじめに

法面緑化工の目的は、法面に植物を生育させて表面侵食と表層崩壊を抑制すると共に、地域固有の生態系や生物多様性を保全することである⁴⁾。また、法面緑化工は景観を創造する技術でもあり³⁰⁾、人が目にすることの多い道路法面などの植生は、人に対して植物とかかわる機会を与えていると考えられる。人は植物とかかわることで、本能的欲求と創造的欲求の充足により癒され、喜び、楽しみを覚えるとされる¹⁸⁾。緑豊かな環境は、人に潤いや安らぎを与え、疲労回復にも効

果があるとされ⁶⁾、法面緑化にはそのような効果も期待できる。

これら法面緑化の多面的な効果を継続的に発揮させるには、緑化目標とする植物群落を成立させることが必要である。法面緑化工は、周辺環境および法面条件の調査を行って緑化目標を決定し、導入する植物と工法を選定して施工し、施工後には植生管理を必要に応じて実施して緑化目標を達成する、という流れで行われるものである²⁶⁾。その点から緑化事業は、工事の竣工が完成を意味するのではなく²³⁾、目標とする群落が成立した時点が完成であるといえる。日本緑化工

学会斜面緑化研究部会が提唱する自然回復緑化でも、主要な目的である生態系の回復と、周辺の既存植生や生物多様性の保全、および景観の調和を図るには、緑化目標を達成することが重要とされている²⁷⁾。一般に、地域の景観に馴染む良好な法面植生は在来種の本木群落とされるが⁴¹⁾、成立に要する期間に関しては群落高が2~3 mの低木林で3~5年、3 m以上の中高木林では5~10年以上を要するという目安がある¹⁾。

長期的な目標の達成と、法面条件および緑化工法との関係に関する知見は、適切な緑化目標の設定と確実な目標達成を可能にするために必要である。播種工に関して、比較的長期間をかけて達成する緑化目標を設定して施工し、成果を検証した研究事例には、岩手県において堅果類が優占する植物群落の形成を目標に植生基材吹付工を施工し、約5年にわたり成果を検証した研究⁵⁾などがあり、長期的な緑化目標の達成が重要であると認識されるようになってからはいくつかの事例が見られる^{10, 11, 13, 31, 34, 35)}。法面条件は立地によって多様であり、法面条件と緑化工法および成立植生との関係についての実証的な研究成果を多く蓄積していくことは、法面緑化工を技術として高度化する上で必要と考える。

そこで本研究では、緑化を行うには乾燥しやすく厳しい環境である尾根部に造成された南西向きの岩盤切土法面を対象に、緑化目標を定めて播種工を施工し、工法ごとの成果を比較検討することにした。緑化目標は2種類を定めた。一つは、播種導入する先駆性本木で低木群落を初期に成立させた後、長期的には周辺植生からの侵入種が優占する低木群落を成立させることを目標とした（以下、侵入種優占目標とする）。もう一つは、播種導入する先駆性本木が優占する低木群落を初期に成立させ、長期的には播種導入する堅果類が優占する低木群落を成立させることを目標とした（以下、播種堅果類優占目標とする）。工法は、水分条件の点で緑化するのに容易な谷部の法面で行った既往の研究^{10, 11)}と同様の植生基材吹付工、植生マット工、植生基材注入工を採用し、緑化目標に合わせて工法の選定と種子の配合を行った。施工後に成立した植物群落について8年間にわたり継続的に調査して、緑化目標達成の観点から既往研究の成果とも比較しながら各工法の成果を評価することにした。

2. 研究方法

2.1 試験場所

試験場所は、栃木県佐野市栃本町の東京農工大学農学部付属フィールドミュージアム唐沢山とした。同地は北緯36度21分、東経139度36分に位置する標高150 mの山地であり、試験期間中の年平均気温は14.1℃、年降水量は1,307 mmであった（アメダスのデータ¹⁴⁾を利用、観測地点は佐野）。試験区を設置したのは岩盤切土法面（写真-1）で、法長は約10 m、方位はS45°W、勾配は63°（1:0.5）であり、基岩は砂岩で、表面には間隔20 cm未満の亀裂が多数認められた。尾根部に位置していたため乾燥しやすく、その目安としては、同様の植生基材吹付工を施した谷部の法面¹⁰⁾が近

写真-1 試験区を設置する前の岩盤切土法面の一部

尾根になっており、試験区は写真の奥側の影になっている部分にも設置した。

Photo 1 Part of the bedrock cut slope before establishment of the revegetation study plots. The study plots were also set up on the opposite slope beyond the ridge.

隣にあり、2010年9月上旬の晴天が3日間続いた後の14~15時における植生基材の体積含水率を双方で比較したところ、谷部の法面では $8.1 \pm 0.8\%$ であったのに対して、本試験地では $3.9 \pm 1.6\%$ と約半分であった。値は、繰り返し5回の平均値 $\pm$ 標準偏差である。なお、測定に際して用具は採土円筒を用いたが、本試験地は岩盤切土であり基材の吹付厚さが薄く円筒を突き刺して基材を採取することは不可能であったため、小手で植生基材をすくい取るようにして採取した。それらを60℃で48時間乾燥させて上記の値を得た。

2.2 試験区の設定

侵入種優占目標の試験区を4区、播種堅果類優占目標の試験区を3区設けた（図-1、表-1）。前者で用いた工法は、吹付厚さ1 cm、3 cm、5 cmの植生基材吹付工（以下、それぞれ吹付1 cm区、吹付3 cm区、吹付5 cm区とする）と、植生マット工（以下、マット1区とする）である。植生基材吹付工は、パーク堆肥、ピートモスを主材料とする有機質系の工法を採用した。マット1区の植生マットは、ポリエチレン製ネット（目合い12 mm $\times$ 20 mm）に肥料袋を縞状に装着した製品を使用した（商品名：ハリシバカンガルー、日本植生（株））。植物材料は、クリーピングレッドフェスク（*Festuca rubra* Linn.）、トールフェスク（*Festuca arundinacea* Schreb.）、ヨモギ（*Artemisia princeps* Pampan.）、ヤシャブシ（*Alnus firma* Sieb. et Zucc.）、ヤマハシノキ（*Alnus hir-*

図-1 試験区の配置

Fig. 1 Arrangement of study plots

表-1 植物材料および植生基盤材等の配合と発生活期待本数

Table 1 Combination of plant and growth based materials for revegetation and expected growth values

試 験 区		吹付 1 cm 区	吹付 3 cm 区	吹付 5 cm 区	マット 1 区	マット 2 区	基材 注入区	筒設吹付区	発生活期 待本数 本/m ²
工 種 概 要		植生基材 吹付 1 cm 厚	植生基材 吹付 3 cm 厚	植生基材 吹付 5 cm 厚	肥料袋付 植生 マット	点状樹木 導入型 植生 マット	植生基材 注入工 6 cm 厚	播種ポット 設置植生基 材吹付工 5 cm 厚	
植 物 材 料 (粒 / m ²)	外来緑化 草 本	クリーピングレッドフェスク 12	29	39	58	39	58	78	20
	草 本	トルフェスク	12	16	20	60	24	16	10
	在来草本	ヨモギ	41	164	246	82	37	369	10
	先 駆 性 木 本	ヤマハンノキ	1,113	3,329	5,555	1,302	333	9,524	30
	木 本	ヤシャブシ	168	497	833	196	413	1,428	20
	木 本	ヒサカキ	1,960	5,880	9,800	9,800	590	16,810	5
	木 本	コナラ	—	—	—	23	47	23	5
	木 本	クヌギ	—	—	—	7	9	7	5
	(堅果類)	シラカシ	—	—	—	7	10	7	5
		アラカシ	—	—	—	11	16	11	1
植 生 基 盤 材 料 等	全面使用	化成肥料	—	—	110.0 g	17.7 g	—	157.1 g	
		土壤改良材	—	—	20.8 g	30.0 g	—	—	
		保水材	—	—	—	1.75 ℓ	—	—	
		微生物	—	—	1 mℓ	—	—	—	
		ピートモス	12.3 ℓ	36.9 ℓ	61.5 ℓ	—	49.6 ℓ	61.5 ℓ	
		ソイルファクター(パーク堆肥等)	7.7 ℓ	23.1 ℓ	38.5 ℓ	—	31.6 ℓ	38.5 ℓ	
(袋および筒に使用)	化成肥料	—	—	—	210.0 g	—	—	17.7 g	
	土壤改良材	—	—	—	160.0 g	—	—	30.0 g	
	保水材	—	—	—	1.2 ℓ	—	—	1.8 ℓ	

suta Turcz. var. *sibirica* C.K. Schn.), ヒサカキ (*Eurya japonica* Thunb.) の種子を使用した。なお、外来緑化草本は、繁殖して木本を被圧しないように、乾燥に対する適応度が中程度²⁶⁾の種を採用した。

他方、播種堅果類優占目標の試験区で用いた工法は、点状樹木導入植生マット工（以下、マット2区とする）と植生基材注入工（以下、基材注入区とする）および、播種ポット設置植生基材吹付工（以下、筒設吹付区とする）であり、配合した種子は、上記の種とともに堅果のコナラ (*Quercus serrata* Thunb.), クヌギ (*Quercus acutissima* Carruth.), シラカシ (*Quercus myrsinifolia* Blume.), アラカシ (*Quercus*

glauca Thunb.)である。マット2区の工法は、ヤシ繊維ネットとジュート繊維ネットに種子と肥料等を入れた袋を点状に等間隔に挟み込んだものを法面に張り付けるものである（商品名：樹太郎マット，日本植生(株)）。基材注入区の工法は、袋状マットを法面に設置した後に植生基材をその中に注入するものである（商品名：エコランドマット，日本植生(株)）。筒設吹付区の工法は、堅果類の種子等を充填した紙製の筒（外径8 cm，長さ20 cm，紙の厚さ5 mm）を縦横1 mの千鳥掛けに設置して植生基材を厚さ5 cmで法面全面に吹き付けるものである。この工法で種子を設置する筒を使用した理由は、堅果を植生基材に混ぜて岩盤に対して高圧で吹き付

けると外皮が壊れる恐れがあり、それを避けるためと、堅果を偏り無く均等に播種するためである。

各試験区の種子配合量は、緑化目標ごとに設定した発生期待本数が得られるように、一般的な播種量の計算式²⁶⁾に工法や植物材料ごとに固有の係数を代入して算出した値である。また、施肥量などの材料は、工法ごとの性質に合わせて設定した。なお、いずれの試験区の種子配合も、外来緑化草本の配合量を少なく設定して木本群落の成立を促す早期樹林化方式^{32,33)}に類するものである。

各試験区は法面延長 5 m 分ずつに並べて配置し、1 試験区の面積は 50 m² 程度とした。緑化施工は 1999 年 6 月に行った。

2.3 調査方法

調査の対象は、緑化後の法面に成立した植物群落と、法面の種多様性の変化と植生遷移に影響を与えるシードレイン（飛来種子）、およびその供給源となる法面上部の自然斜面の植物群落とした。

調査は、法面の各試験区の水平方向の中央部下端から高さ 1~6 m の間に 1 m×1 m の調査区画を縦一列に 5 個設置して行った。施工後 1~3, 5, 8 年目の 9 月に、植物が法面を覆っている割合（被覆率）を測定すると共に、Braun-Blanquet の全推定法²⁾による植物群落調査を行った。さらに、木本個体の樹高と、樹高 10 cm 以上の個体の根元幹径を 8 年目に測定した。調査は区画の横に梯子をかけて行った。なお、筒設吹付区に関しては、播種した堅果類の生育が 5 年目に確認できなかったため、3 年目で試験を終了とした。

シードレインの調査は、法尻部にシードトラップを設置して行った。シードトラップの形状は、開口部面積が 0.25 m² の漏斗型で、開口部を地上高 1 m に設定した。トラップ部は目合 1 mm×1 mm の生地で作製し、開口部には鳥よけのための赤色と銀色のテープを付けた。これを等間隔で 4 個設置することで開口部面積の合計を 1 m² とした。シードトラップ内の種子の回収頻度は月 1 回（2 年目の 8, 9 月のみ 2 ヶ月に 1 回）とし、調査期間は 1999 年 7 月から 2002 年 6 月までの 3 年間とした。

法面上部の自然斜面の植物群落の調査は、1999 年 6 月下旬に 5 m×5 m の区画を 5 つ設置して Braun-Blanquet の全推定法²⁾で行った。

3. 結 果

3.1 法面上部の自然斜面の植物群落

法面上部の自然斜面には、コナラが優占する高さ 13.0 m の群落が成立しており、高木層の植被率は 54.0% で、出現種はコナラ他、アオハダ (*Ilex macropoda* Miq.)、ヤマザクラ (*Prunus jamasakura* Sieb.)、リョウブ (*Clethra barbinervis* Sieb. et Zucc.)、アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) などであった。その下には亜高木層、低木層、草本層が形成されており、亜高木層は高さ 9.7 m で植被率 56.0%、低木層は高さ 4.6 m で植被率 60.0%、草本層は高さ 0.5 m で植被率 32.0% であった。総出現種数は 72 種であった。

3.2 シードレイン

シードレインの構成種数は 45.7 種/年であり、種子数は 7,274 個/(m²・年) であった (表-2)。各年の構成種数は 42~48 種と大きな差はみられなかったが、種子数に関しては 4,578~9,725 個/m² と年によって大きく違い、2 年目が最多であった。また、個々の種についてもヒメジョオン類 (*Erigeron* spp.) やヨモギ、ヒサカキなどのように年によって個数が大きく違うものがみられた。

緑化目標とする低木群落の成立に有効と考えられる木本種の種子に関しては、年平均で 13.0 種/m²、718 個/m² が確認された。

次に、シードレインの種数と個数の季節変化を図-2 に示

表-2 法尻部における施工後 3 年間の年ごとのシードレイン組成

Table 2 Composition of seed rain at the bottom of the artificial slope three years after revegetation

種 名	散布型	種子数 (個/m ²)			
		1 年目	2 年目	3 年目	平均
一年生草本	ヒメジョオン類	733	1,778	5,115	2,542.0
	コセンダングサ	222	2,606	1,014	1,280.7
	アキノエノコログサ	2,211	112	30	784.3
	オニノゲシ	794	144	23	320.3
	イヌホオズキ	19	534	131	228.0
	他 20 種の合計	360	836	322	506.0
多年生草本	ヨモギ	32	1,921	34	662.3
	トールフェスク	40	61	218	106.3
	セイタカアワダチソウ	16	19	46	27.0
	ヒヨドリジョウゴ	12	46		19.3
	ヘクソカズラ	19	16	19	18.0
	他 18 種の合計	13	79	61	51.0
つる性木本	クズ		2		0.7
	アオツツラフジ	1			0.3
	ヤマカシユウ	1			0.3
木本	ヒサカキ	4	618	362	328.0
	ヒノキ	53	840	18	303.7
	ヌルデ	3	35	28	22.0
	リョウブ	21	22	20	21.0
	マルバハギ			46	15.3
	他 14 種の合計	23	49	13	28.3
種数	一年生草本	16	19	19	18.0
	多年生草本	12	14	15	13.7
	つる性木本	2	1	0	1.0
	木本	12	14	13	13.0
合 計		42	48	47	45.7
個数	一年生草本	4,339	6,010	6,635	5,661.3
	多年生草本	132	2,142	378	884.0
	つる性木本	2	2	0	1.3
	木本	104	1,564	487	718.3
	種不明	1	7	18	8.7
合 計		4,578	9,725	7,518	7,273.7

図-2 法尻部における施工後3年間のシードレインの種数と個数の月ごとの変化

Fig. 2 Monthly changes in species and seed rain grains at the bottom of the artificial slope three years after revegetation

図-3 各試験区の植物による被覆率の経年変化

Fig. 3 Changes in plant community coverage at each plot over eight years

す。施工当年の9月および3年目の8-9月の個数はその前後に比べて突出して多いが、これらの時期に関してはアキノエノコログサ (*Setaria faberi* Herrm.) とヒメジョオン類の個数がそれぞれの時期の個数の90.4%と98.3%を占めていた。これらを除いて考えると、種数と個数はともに秋期から冬期にかけて比較的多く確認された。

なお、シードトラップは法尻に設置したため、法面植生で生産された種子も捕捉しており、ヨモギやトールフェスクなどがそれらに該当すると考えられる。

3.3 法面に成立した植物群落

3.3.1 被覆率

施工後3ヶ月が経過した後(施工当年)の被覆率の平均値は0.8~17.0%といずれの試験区でも低く、最も高い基材注入区でも17.0%であった(図-3)。植生基材吹付工の試験区は、吹付厚が厚いほど被覆率が高く、吹付5cm区は15.0%であり、吹付1cm区は0.8%であった。

施工後2年目は、マット1区が51.0%、基材注入区が56.0%と比較的高く、次いで吹付3cm区が42.0%、吹付5cm区が35.0%であった。一方、吹付1cm区は15.0%、マット2区は3.4%と低かった。

マット1区は2年目から3年目にかけて被覆率が低下したが、3年目から5年目にかけて増加して70.0%に達し、8年目は65.6%であった。基材注入区も同様に2年目から3年目にかけて低下したが、3年目以降は増加して8年目は97.0%であった。吹付3cm区と5cm区は2年目から5年目にかけて増加し、5年目の値はそれぞれ90.0%と86.0%であったが、8年目には減少してそれぞれ80.0%と50.0%であった。

2年目に値が低かった吹付1cm区とマット2区は、3年目もそれぞれ19.0%および9.6%と低かったが、その後、経年的な増加がみられ、8年目には吹付1cm区が65.0%、マット2区が74.0%に達した。

参考までに、施工当年の10月(施工後4ヶ月目)と、3年目および8年目の9月の状態を写真-2に表示する。

3.3.2 群落高と階層構造

群落高(調査区の平均値)は、施工後5年目まではいずれの試験区も1m程度であった(図-4)。吹付1cm区とマット1区は8年目においても1m以下であったが、吹付3cm区とマット1区は8年目にはそれぞれ増加して1.5mおよび1.7mであった。堅果類を播種したマット2区と基材注入区では5年目から8年目にかけて大きく増加し、マット2区は2.4m、基材注入区は3.2mであった。

群落の階層構造に関しては、施工後3年目まではいずれの試験区も草本層のみであった。5年目は、基材注入区では4つの調査区画で低木層が確認され、それ以外の試験区では草本層のみが確認された。8年目は基材注入区とマット2区のすべての調査区画で低木層が確認され、吹付3cm区では4調査区画で確認され、吹付1cm区とマット1区では1調査区画のみで確認された。吹付5cm区は8年目においても草本層のみであった。

3.3.3 出現種数

6種の緑化植物を配合した侵入種優占目標の試験区の施工当年の出現種数は、吹付1cm区が3種(導入種は2種、括弧内以下同様)、吹付3cm区が5種(1種)、吹付5cm区が3種(1種)、マット1区が8種(2種)であった(図-5)。これらの試験区ではいずれも2年目に出現種数が2倍以上に増えたが、その多くは侵入した草本類であった。緑化施工時に播種したヤシャブシ、ヤマハンノキ、ヒサカキは3年目に至っても生育が確認されず、5年目以降にヤシャブシのみが吹付3cm区で確認された。

堅果類を含む10種を配合した播種堅果類優占目標の試験区の施工当年における出現種数は、マット2区は6種(4種)、基材注入区で13種(8種)、筒設吹付区で9種(3種)であった。播種したヤシャブシ、ヤマハンノキ、ヒサカキのうち、ヤシャブシは基材注入区のみで生育が確認され、ヤマハンノキは筒設吹付区のみで確認されたが、3年目にはいず

施工当年(施工後4ヶ月目)

施工後3年目

施工後8年目

写真-2 各時期の試験区の状況

Photo 2 Images of the study plots for each year

れの試験区でもこれらの種は確認されなかった。播種した堅果類は、施工当年において、マット2区では2種、基材注入区では4種、筒設吹付区では1種が確認された。5年目のマット2区と基材注入区では共にアラカシ、クヌギ、コナラが確認され、8年目も同種が確認された。一方、筒設吹付区では3年目まではコナラのみが確認されたが、5年目はいずれの堅果類も確認されなかった。

施工後8年目における出現種数は、吹付1cm区は11種、吹付3cm区は14種、吹付5cm区は6種、マット1区は23種、マット2区は23種、基材注入区で20種であった。外来緑化草本は、トールフェスクのみが吹付1cm区と吹付3cm区で確認された。

3.3.4 被 度

被度は、Braun-Blanquetの全推定法による植物群落調査で得られた各種の優占度を、百分率被度の中央値(優占度5=87.5%, 4=62.5%, 3=37.5%, 2=17.5%, 1=5.0%, +=0.1%)に換算して求めた。

施工当年の被度はいずれの試験区も低かったが、2年目はマット2区以外では外来緑化草本以外の草本の被度が比較的大きく増加した(図-6)。侵入種優占目標の吹付1cm区、3cm区、5cm区およびマット1区はいずれも、2年目から5年目までは外来緑化草本以外の草本の被度が高かった。吹付3cm区とマット1区では、5年目から8年目にかけて侵入した木本の値が大きく増加し、8年目は外来緑化草本以外の草本よりも侵入した木本の方が被度が高かった。吹付1cm区と吹付5cm区では8年目も外来緑化草本以外の草本の被度が最も高かった。

播種堅果類優占目標のマット2区は、5年目まで他の試験区と比べて被度は低かったが、8年目には播種した堅果類の被度が大きく増加した。基材注入区でも同様に、播種した堅果類の被度は経年的に増加して8年目が最も高かった。

一方、外来緑化草本の被度に関して、吹付3cm区と5cm区および基材注入区では、2年目に比較的高く、それ以降、外来緑化草本は衰退し、8年目の吹付5cm区と基材

図-4 各試験区の群落高の経年変化

Fig. 4 Changes in plant community height at each plot over the eight study years

注入区の値は0であった。吹付1cm区と吹付3cm区では、8年目においても外来緑化草本が確認されたが、被度の値は共に0.1%以下と低かった。マット1区およびマット2区の外来緑化草本の被度はいずれの年も低く、8年目の値は0であった。

3.3.5 積算優占度

いずれの試験区でも被覆率が50.0%以上に達していた施工後8年目における積算優占度 (SDR_2 : 被度と頻度を用いて算出) の上位5位までの種を表-3に示す。侵入種優占目標の試験区では、播種した先駆性木本は優占しておらず、吹付1cm区と吹付5cm区およびマット1区ではコセンダングサ (*Bidens pilosa* Linn.) が優占順位1位であった (SDR_2 : 100, 以下同様)。また、吹付1cm区は木本が5位までに含まれていなかった。吹付5cm区ではコウゾ (*Broussonetia kazinoki* Sieb., SDR_2 : 43.3) が2位であったが、1位のコセンダングサとの差が大きく、コセンダングサの優占度合いが特に高かった。マット1区は、木本のコマツナギ (*Indigofera pseudotinctoria* Matsum.) が2位 (78.9), リョウブが3位 (70.0), アカマツが4位 (66.3) であった。

一方、吹付3cm区では、施工後に周辺植生から侵入した先駆性木本のスルデ (*Rhus javanica* Linn.) が優占しており、同じく先駆性木本のアカメガシワ (*Mallotus japonicus* Muell.-Arg.) も4位であった。なお、外来緑化草本のパミューダグラス (*Cynodon dactylon* Pers.) が5位であったが、同種は施工当年から確認されており、吹付機械に残留していた種子が非意図的に使用された可能性がある。

播種堅果類優占目標の試験区のマット2区と基材注入区では、共に堅果類の優占順位は高かった。マット2区ではアラカシが1位 (100.0), クヌギが2位 (69.3), コナラが3位 (54.5) であり、基材注入区ではコナラが1位 (100.0),

図-5 各試験区の総出現種数の経年変化

Fig. 5 Changes in the number of emerging species at each plot over the eight study years

クヌギが2位 (74.6), アラカシが4位 (49.0) であった。

3.3.6 木本の生育

施工後8年目における各試験区の樹高階分布を表-4に示す。侵入種優占目標の試験区における5m²当たりの木本個体数は、吹付1cm区と吹付5cm区が1個体と少なかったのに対し、吹付3cm区は30個体、マット1区が11個体と比較的多かった。播種した先駆性木本は、吹付3cm区で見られたヤシャブシ1個体のみであった。

吹付3cm区の樹高の最大値はヤシャブシの2.8mであり、2~3mの樹高階にはその他、スルデが1個体生育していた。1~2mの樹高階にはアカメガシワ4個体、スルデ12個体が生育していた。

マット1区は、樹高の最大値がコウゾの2.7mであり、1~2mの樹高階にコウゾ1個体、コマツナギ1個体、リョウブ3個体が生育していた。

播種堅果類優占目標の試験区における5m²当たりの木本

図-6 各試験区の被度の経年変化
値は調査区画の平均値。

Fig. 6 Changes in the degree of cover at each plot over the eight year period. Mean values of the investigated quadrats are shown.

表-3 施工後8年目の各試験区における積算優占度5位までの種

Table 3 Top five species in each plot based on summed dominance ratios in the eighth year

吹付 1 cm 区				吹付 3 cm 区				吹付 5 cm 区				マット 1 区			
順位	出現種	生活形	SDR ₂	順位	出現種	生活形	SDR ₂	順位	出現種	生活形	SDR ₂	順位	出現種	生活形	SDR ₂
1	コセンダングサ	A	100.0	1	スルデ	T	100.0	1	コセンダングサ	A	100.0	1	コセンダングサ	A	81.3
2	ノブドウ	V	68.7	2	コセンダングサ	A	70.4	2	コウゾ	T	43.3	2	コマツナギ	T	78.9
3	ヘクソカズラ	P	52.2	3	ヘクソカズラ	P	62.4	3	ヘクソカズラ	P	23.4	3	リョウブ	T	70.0
3	メドハギ	P	52.2	4	アカメガシワ	T	51.0	4	ヨモギ	P	16.0	4	アカマツ	T	66.3
5	オオアレチノギク	A	35.6	5	バミューダグラス	P	40.1	5	イヌホオズキ	A	11.7	5	ヘクソカズラ	P	63.9
									セイヨウタンポポ	P	11.7				
マット 2 区				基材注入区											
順位	出現種	生活形	SDR ₂	順位	出現種	生活形	SDR ₂								
1	アラカシ	T	100.0	1	コナラ	T	100.0								
2	クヌギ	T	69.3	2	クヌギ	T	74.6								
3	コナラ	T	54.5	3	コセンダングサ	A	63.2								
4	コセンダングサ	A	50.2	4	アラカシ	T	49.0								
5	ヘクソカズラ	P	31.2	5	ヘクソカズラ	P	44.2								

注：積算優占度は被度と頻度を用いて算出した。

生活形の A は一年生草本，P は多年生草本，V はつる性木本，T は木本を示す。

の個体数は、マット 2 区が 15 個体、基材注入区が 21 個体であった。そのうち堅果類は、マット 2 区が 8 個体、基材注入区が 17 個体であり、基材注入区の方が約 2 倍多かった。種ごとでは、マット 2 区はアラカシが 4 個体、クヌギが 3 個体、コナラが 1 個体であり、基材注入区はアラカシが 3 個体、クヌギが 6 個体、コナラが 8 個体であった。これら 3 種の他にシラカシを播種したが、8 年目には全く生育していなかった。

マット 2 区は、樹高の最大値はクヌギの 1.5 m で、樹高階 1~2 m に 5 個体が生育しており、これらはすべて堅果類であった。一方、基材注入区の樹高の最大値はコナラの 4.1 m であり、1 m 以上の個体はすべて堅果類で、4~5 m に 1 個体、3~4 m に 1 個体、2~3 m に 6 個体、1~2 m に 1 個体が確認された。

木本の現存量との相関が高い D²H の合計値は、吹付 1 cm 区が 0 cm³/m²、吹付 3 cm 区が 3,051 cm³/m²、吹付 5 cm 区が 15 cm³/m²、マット 1 区が 442 cm³/m²、マット 2 区が 712 cm³/m²、基材注入区が 5,966 cm³/m² であった。

4. 考 察

4.1 周辺植生から試験区への種子供給

法面上部の自然斜面には種多様な高木群落が成立しており、法尻部に設置したシードトラップで調べたシードレインには、多くの木本種子が含まれていた。このことから、法面植生が種多様な木本群落へと遷移するのに必要な種子は、周辺植生から豊富に供給されていたと考えられる。実際に、多くの試験区で 2 年目に植物群落の出現種数が大きく増加しており、これは豊富なシードレインが存在したために起こったと考えられる。なお、2 年目および 3 年目のシードレインで、ヒメジョオン類やコセンダングサ、ヨモギなどの草本類が多かったのは、法面に生育したこれらの個体からの種子散布を計測したためと推察される。

4.2 侵入種優占目標の試験区の評価

吹付 1 cm、3 cm、5 cm 区およびマット 1 区はいずれも、施工当年の被覆率は低かったが、これは木本の生育を促すために草本の播種量を少なく設計したためである。施工後初期

表-4 施工後8年目の各試験区における樹高階分布

Table 4 Height class distribution of trees in each plot in the eighth year

吹付1 cm 区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
コ ウ ゾ	1					1
合 計	1					1

吹付3 cm 区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
ア カ メ ガ シ ワ	3	4				7
コ ウ ゾ	1					1
コ ナ ラ	5					5
ヌ ル デ	3	12	1			16
ヤ シ ャ ブ シ			1			1
合 計	12	16	2			30

吹付5 cm 区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
コ ウ ゾ		1				1
合 計		1				1

マット1区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
コ ウ ゾ		1	1			2
コ マ ツ ナ	5	1				6
リ ヨ ウ ブ		3				3
合 計	5	5	1			11

マット2区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
ア ラ カ シ	2	2				4
ク ナ ギ	1	2				3
コ ナ ラ		1				1
ヒ ノ キ	2					2
マルバアオダモ	3					3
ムラサキシキブ	1					1
リ ヨ ウ ブ	1					1
合 計	10	5				15

基材注入区

種 名	~1 m	1 m ~ 2 m	2 m ~ 3 m	3 m ~ 4 m	4 m ~ 5 m	合計
ア ラ カ シ	3					3
ク ナ ギ	1					1
コ ナ ラ	4	1	4	1		10
コ ウ ゾ	2					2
ヒ ノ キ	1					1
リ ヨ ウ ブ	1					1
合 計	12	1	6	1	1	21

の被覆率は低く、播種導入したヤシヤブシとヤマハンノキが発芽後に被圧されるような状態ではなかったと考えられるが、施工後3年を経てもこれらの種は確認されなかった。湿潤な岩盤切土法面で行った同様の緑化試験では、同種が旺盛に生育したことが報告されている^{10,11)}ことから、乾燥しやすい急勾配の岩盤切土法面では、これらの工法で同種を導入することは不適であったと考えられる。

施工後3年目までの成果を見た場合には、いずれの試験

区も播種導入した先駆性木本が優占する低木群落を将来成立させられると予測できる状態ではなく、成績は不良であったと判断される。しかし、吹付3 cm 区とマット1区は、施工後8年目には被覆率が高い値に達しており、周辺から侵入した木本個体が多く生育し、木本の優占度が高かった。このことから、長期的な緑化目標として設定した、周辺植生からの侵入種が優占する低木群落は形成されたと判断される。特にマット1区では出現種数が多かったが、その理由としては、ネットで法面を覆うことにより、シードレインを捕捉しやすかったこと^{9,12)}と、法面表層部分の保水効果が得られて飛来した種子が発芽・生育しやすかった可能性が考えられる。

一方、吹付1 cm 区と5 cm 区では、一年生草本のコセンダングサの優占度が最も高く、木本の個体数は少なかった。これらに隣接しており吹付厚さが中間の吹付3 cm 区では木本が多く生育しており、基材の厚さと木本個体数についての関係性が見いだせない点からは、木本個体数の違いは各試験区に対する周辺からの種子の飛来数の違いに起因していたと推察される。吹付3 cm 区で個体数が多かったヌルデやアカメガシワは鳥散布種であり^{22,28,29)}、鳥散布種子は鳥が止まれるものが存在する場所の下に集中的に散布されることが知られている¹⁵⁾。吹付3 cm 区で多く生育していたアカメガシワが、試験法面の法尻に等間隔に点在させたシードトラップでは捕捉されず、ヌルデに関してもシードトラップの間で捕捉数に0~26個の違いがあったことから、種子散布には偏りがあったと考えられる。吹付3 cm 区では、法面上部の木の枝や法面に生育した植物が止まり木として利用されることにより、多くのヌルデやアカメガシワの種子が散布されたと推察される。

植生基材を最も厚く吹付けた吹付5 cm 区は、8年目の被覆率、出現種数、被度の値は他区と比べて低かったが、この原因の一つとしては、植生基材面に対する種子の侵入・定着のしにくさが考えられる。本研究では、種子の飛来量は秋期から冬期にかけて多かったが、その後の冬期から春期は植生基材の表面が侵食されやすい時期⁷⁾である。植生基材の上に飛来した種子は、基材の侵食とともに移動して発芽・生育しにくかったことが考えられ、そのことは侵食する基材が比較的多くあった5 cm 区において顕著であったと推察される。本研究と同様の勾配の法面において表土を混合した植生基材を吹付けた緑化試験でも、施工後3年までの調査結果から、種子の飛来による種の侵入・定着は起こりにくかったことが報告されている⁸⁾。一方、別の研究事例では、本研究よりも緩勾配の法面において植生基材吹付工を施し、自然侵入する種子のみで緑化を試みたところ、早期に侵入が起こり良好な結果が得られたことが報告されている^{24,36,38)}。植生基材の侵食は勾配が緩い方が起こりにくく⁷⁾、植生基材面に対する種子の侵入・定着のしやすさは、勾配に関係すると考えられる。これらのことから、植生基材吹付工を施工して、周辺植生からの早期の種の侵入・定着による植生遷移を期待する場合は、法面の勾配について考慮する必要がある、侵入・定着を

促進させるためには、吹付面に凹凸を付けたり²⁴⁾、吹付面をネットで覆って種子を補足しやすくする³⁹⁾などの工夫を施すことが有効と考えられる。植生基材吹付工の施工後、自然侵入により周辺植生と類似の植生へ遷移させることを計画的かつ効率的に行えるようにするには、勾配と自然侵入との関係に関する知見や、上述したような自然侵入を促進する技術的な知見の蓄積が必要と考える。

なお、吹付 3 cm 区において非意図的に使用したバミューダグラスが生育したが、このことから今後起こりうる問題として考えられるのは、植物材料の地域性に配慮した緑化を行う際の、地域性の異なる植物の非意図的な使用である。今回のような植物の非意図的な使用を回避するためには、施工完了時に吹付機の内部に材料を残さないようにする必要がある、効果的な清掃方法や、それが容易にできる機器の開発が必要と考えられる。

4.3 播種堅果類優占目標の試験区の評価

マット 2 区や基材注入区は、施工後初期の被覆率は低く、播種導入した先駆性木本が優占する低木群落を初期に成立させることはできなかったが、8 年目には目標とする堅果類が優占する低木群落が成立した。これらの工法は法面を繊維で覆うため、材料自体に高い侵食防止効果がある。植生基材注入工の耐侵食性に関しては、本研究で使用したものと別の製品の研究事例として、裸地が目立つ状態で最大時間降雨量 112 mm、日降雨量 506 mm を経験しても侵食は見られなかったことが報告されている²⁵⁾。初期の被覆率の低さは、侵食の危険性の点では、工法の素材自体に高い侵食防止効果が備わっていれば問題にはならず、逆に草本と木本を混播した際には木本の被圧^{3,17,21)}を回避できるという有効性があると考えられる。

マット 2 区と基材注入区の結果を比較した場合、被覆率の増加の早さや、堅果類の生育個体数の多さから、基材注入区の方が優れていたと判断できる。同区で施工した植生基材注入工は、湿潤な切土法面で施工した既存の研究でも、施工後 8 年目には堅果類が優占する群落を形成できており¹¹⁾、水分条件がより厳しい本研究の法面でも良い成績を得ることができたことから、適用できる環境の幅が広く確実性の高い工法であると言える。ただし、基材注入区では播種したヤマハノキとヤシャブシが上記既存研究¹¹⁾と同様に生育しなかった。その理由としては、基材注入区の繊維面の編み目は、スラリー状にして充填する植生基材が流出しない程度に詰っており、それらの種の発芽は編み目を突き抜けることができず生育できなかった可能性が考えられる。

一方、播種したヒサカキに関してはすべての試験区でまったく生育しなかったが、既存の研究でも有機質系の植生基材面ではヒサカキが生育しなかったことが報告されている^{16,19,20)}。植生工と植物材料との間には相性があり³³⁾、既存の研究例では有機質系基盤材に対するネズミモチとシャリンバイの相性について検証されたものがある⁴⁰⁾。今後は生物多様性保全への配慮から、これまで緑化材料として利用されることがなかった在来種を用いるようになることが予想され

る。そのような種を利用する際には、採用する工法で発芽・生育できることをあらかじめ確認する必要があることが本研究からも示唆され、関連する研究的知見の蓄積が必要と考える。

筒設吹付区に関しては、本研究では播種した堅果類が生育せず成績は不良であったが、湿潤な法面で施工した過去の研究事例¹¹⁾では、堅果類が旺盛に生育して良好な成果が得られており、不良の原因としては基材が乾燥しやすく水分が不足したことが推察される。このことは、基材が繊維で覆われていてマルチング効果により水分環境が良かったと考えられるマット 2 区や基材注入区では堅果類が生育したことからも支持される。筒設吹付工は、現状の仕様では乾燥しやすい急勾配の法面には不適であると判断され、改良の余地があると考えられた。

5. おわりに

法面や崩壊地などの斜面における緑化施工後の検査に関しては、評価尺度として植物による被覆率や木本の個体数を用いるのが一般的である²⁶⁾。草本と木本を混播する場合に関しては、草本による木本の被圧の危険性^{3,17,21)}から、一例では施工 3 ヶ月後における合格の目安として植物による被覆率が 30~50% で木本個体数が 10 本/m² 以上という数値が提示されている²⁶⁾。マット 2 区と基材注入区では、被覆率はこれを満たさなかったが、長期的には良好に緑化がなされた。これらの工法のように、素材自体に高い耐侵食性が備わっている工法で木本を播種導入する場合は、施工後初期の被覆率は低くても、侵食の危険性の点では問題はない。また、今後は生物多様性保全の目的から、大量に入手することが困難な地域性の植物材料を用いる機会が多くあると考えられ、そのような場合は施工後初期に高い被覆率が期待できないことが予想される。成績の判定は、工法ごとの特性を考慮した基準に従って行うのが適切であり³⁷⁾、今後、工法ごとに適正な成績判定基準を科学的知見に基づいて検討する必要があると考ええる。

また、成績判定する時期に関しては、現在のところ一般に、施工 3 ヶ月後といった極初期にのみ行われることが多いが、土木工事の竣工が緑化事業の完成を意味するわけではない²³⁾。法面緑化が持つ多面的効果を永続的に発揮させるには、長期的な緑化目標を達成して維持することが必要である。目標達成前に成績判定を行う場合には、目標達成に向けた育成管理や維持管理が順応的に行われるための判断材料となりうるように考慮して行うべきである。判定する時期および方法についても、判定基準と共に検討する必要がある。

一方、最終的な緑化目標に関しては、周辺植生と同等もしくは周辺植生になるべく近い植物群落が望ましいという考えがある⁴⁾が、種構成や個体数密度など、成績判定に必要な法面条件ごとに達成されるべき数値に関する知見は不足している。適切な緑化計画の策定と効率的な緑化の実施を可能にするためには、最終的な緑化目標として適切な法面植生についてのより多くの科学的知見の蓄積が必要である。

謝辞:本研究では、緑化施工に際して日本植生株式会社の諸氏にご尽力頂いた。調査の際には、東京農工大学景観生態学研究室の諸氏にお世話頂いた。中外テクノス株式会社関東環境技術センターの則行雅臣氏には、法面植生およびシードレインのデータ集計の際にお世話になった。日本植生株式会社の柏木亨氏には緑化材料に関する情報収集の際にお世話になった。ここに記して深甚の謝意を表す。

引用文献

- 1) 阿部和時 (2005) 法面緑化の計画・設計・施工・管理, 日本緑化工学会編, 環境緑化の事典, 朝倉書店, pp. 237-244.
- 2) Braun-Blanquet, J., (1964) Pflanzensoziologie, 3 Auflage., Springer-Verlag, Wien. (鈴木時夫訳 (1971) ブラウン・ブランケ植物社会学 I, II, 朝倉書店), 865 pp.
- 3) 藤本政裕・石坂健彦・石曾根敦子・藤原宣夫 (2001) 播種工によるのり面樹林化において草本種及び保全種が種構成種の初期生育に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 27(1): 261-264.
- 4) 福永健司・吉田寛 (2007) 法面緑化, 森本幸裕・小林達明編, 最新環境緑化学, 朝倉書店, pp. 132-152.
- 5) 古田智昭・吉田寛 (2004) 寒冷地におけるコナラ・ミズナラ群落の形成と目標とする播種工による自然回復緑化事例, 日本緑化工学会誌, 30(2): 377-382.
- 6) 古谷勝則 (2005) 16.8 感覚的機能の評価法, 日本緑化工学会編, 環境緑化の事典, 朝倉書店, pp. 422-427.
- 7) 細木大輔・柏木亨・松江正彦 (2009) 植生基材吹付工施工後2年間の基材の耐侵食性, 日本緑化工学会誌, 35(1): 126-129.
- 8) 細木大輔・中村勝衛・亀山章 (2005) 切土法面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.
- 9) 細木大輔・中村勝衛・亀山章 (2008) ネット利用型の自然侵入促進工法による切土法面の緑化, 日本緑化工学会誌, 33(3): 474-483.
- 10) 細木大輔・中村勝衛・亀山章 (2008) 湿潤な切土法面における外来緑化草本と先駆樹種を用いた播種工の成果比較, 日本緑化工学会誌, 34(2): 384-394.
- 11) 細木大輔・中村勝衛・亀山章 (2009) 湿潤な切土法面における堅果類を用いた播種工の成果の評価, 日本緑化工学会誌, 34(3): 508-515.
- 12) Hosogi D., Yoshinaga C., Nakamura K, and Kameyama A. (2006) Revegetation of an artificial cut-slope by seeds dispersed from the surrounding vegetation. Landscape and Ecological Engineering, 2(1), 53-63.
- 13) 井上謙・吉田寛 (2002) 自然景観と公園の要素に配慮した播種工による早期樹林化の試み(III)—施工約6年後の植生状況—, 日本緑化工学会誌, 28(1), 154-157.
- 14) 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 15) 小南陽亮 (1999) 鳥類に食べられて運ばれた種子の空間分布, 上田恵介編, 種子散布, 助け合いの進化論〈1〉, 築地書館, pp. 17-26.
- 16) 久保満佐子・細木大輔・松江正彦 (2010) 国営備北丘陵公園における森林表土利用工による法面緑化の施工事例, 日本緑化工学会誌, 35(4): 542-546.
- 17) 倉田益二郎 (1979) 緑化工技術, 森北出版, 291 pp.
- 18) 松尾英輔 (2009) 緑と人の健康とのかかわり—緑 (植物) とのかかわりはなぜ健康によいのか—, 日本緑化工学会誌, 34(3): 482-487.
- 19) 中村剛・石坂知行 (2004) 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, 30(1): 253-256.
- 20) 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.
- 21) 難波宣士 (1986) 緑化工の実際, 創文, 277 pp.
- 22) 中西弘樹 (1994) 種子ひろがる, 平凡社, 248 pp.
- 23) 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.
- 24) 奥村武信・澤教子・藪下祐己・田中博 (2002) 飛来種子による樹林化のための生育基盤, 日本緑化工学会誌, 28(1): 67-72.
- 25) 杉山勝茂・西野浩行 (2009) 森林表土を利用した客土注入マット (植生基材注入工) と有機質系植生基材吹付工の比較実験, 日本緑化工学会誌, 35(1): 150-153.
- 26) (社)日本道路協会 (2009) 道路土工一切土工・斜面安定工指針, 521 pp.
- 27) 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.
- 28) 上田恵介 (1995) 花・鳥・虫のしがらみ進化論, 築地書館, 269 pp.
- 29) 上田恵介 (1999) 意外な鳥の意外な好み, 上田恵介編, 種子散布, 助け合いの進化論〈1〉, 築地書館, pp. 64-75.
- 30) 山田守 (2005) 法面緑化の工法, 日本緑化工学会編, 環境緑化の事典, 朝倉書店, pp. 247-251.
- 31) 山田守 (2008) 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—, 日本緑化工学会誌, 33(3): 463-465.
- 32) 山寺喜成 (1986) 播種工による早期樹林化方式の提案, 緑化工技術, 12(2): 25-35.
- 33) 山寺喜成 (1995) 播種工による早期樹林化の手法, 小橋澄治・村井宏編, 法面緑化の最先端, ソフトサイエンス社, pp. 148-170.
- 34) 吉田寛 (1998) 播種工による階層構造を有する複層林の造成, 日本緑化工学会誌, 24(2): 90-98.
- 35) 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.
- 36) 吉田寛 (2009) 礼文島における挿木工を併用した種子なし厚層基材吹付工の施工事例, 日本緑化工学会誌, 34(3): 542-545.
- 37) 吉田寛 (2009) 斜面緑化における播種工の成績判定方法のあり方, 日本緑化工学会誌, 34(3): 459-465.
- 38) 吉田寛・小野幸菜 (2006) 富士スバルラインにおける種子なし厚層基材吹付工の効果, 日本緑化工学会誌, 32(1): 274-277.
- 39) 吉田寛・氏家豊和 (2009) 種子なし生育基盤と種子定着促進ネットを組み合わせた新しい自然侵入促進工, 日本緑化工学会誌, 34(4): 649-653.
- 40) 吉田幸信・内田純二・舌間貴宏・増田拓朗・橋本和明 (2002) 播種工によるのり面樹林化工法の追跡調査に基づく評価, 日本緑化工学会誌, 27(4): 617-622.
- 41) (財)道路環境研究所 (2005) 道路のデザイン, 大成出版社, 192 pp.

(2011. 6. 25 受理)