

35. 自然環境保全・回復のための緑化手法の検討

—土砂採取場岩盤跡地における森林再生緑化事例から—

Development of greening methods for the reforestation of the surface rock

吉田光毅*、大川原良次*、渡辺篤**、藤原靖*

Kouki YOSHIDA, Ryoji OKAWARA, Atsushi WATANABE, Yasushi FUJIWARA

ABSTRACT ; Experimental reforestation has been conducted on the steep slope surface of rock with three varied environmental conditions in regard with fissures, the degree of weathering and the presence and absence of spring waters. The initial conditions of the test plots and preliminary results were reported on 13th symposium in 2005. The continuous results of field experiment collected in 2006 were summarized in the present report. The frequency of fissures, the degree of weathering and the presence of spring water were determined in the test plots. The water content of surface soil and the content of nutrients were also measured. Slightly higher water content of soil surface was observed in the root-beds supporting seedling survival. The nutrient contents of total nitrogen, total carbon, exchangeable cations (Ca, Mg, K, Na) did not show significant difference among test plots. Available phosphate content showed wide variation among test plots. The survival rates of planted seedlings did not necessarily coincide with nutrient contents except available phosphate and the number of fissures in the surface of rock. These results suggested that the water content, available phosphate and the fissures in the rock surface could be the important factor to decide survival of seedlings. Therefore it is very important to select proper position of planting for the survival of seedlings on the rock surface.

KEYWORDS ; greening, reforestation, slope greening, root-bed

1 はじめに

埋立て用土砂採取跡地の岩盤法面および平場に森林を再生する目的で、法面では根床を設け直接ポット苗木を導入する手法を検討してきた。試験対象とした岩盤法面に湧水や亀裂の状態が異なる3試験区を設定して比較試験を実施した。一方、平場では岩盤への伐採材チップの散布が植栽に及ぼす影響について試験を計画した。2006年は植栽後4年目にあたり、継続して現地調査を実施したのでその結果を報告する。2006年の現地調査は8月の夏期に実施し、苗木の生存率に関して調査した。この結果を2004～2005年での生存率と比較した。さらに、岩盤の亀裂状態および湧水時の植栽基盤の水分含有量と肥料成分と苗木の生存率との関係について考察した。

2 試験概要

2.1 試験法面の選定と植栽の実施

試験地は三重県南西部の土砂採取跡地の地山の岩盤が露出した法面である。土砂採取事業は2001年6月から2004年3月にかけて実施され、開発面積は51ha、森林抜開面積は20haで、土砂採取後に残された岩盤法面12.4ha（切土勾配1:0.8、最大切土高さ164m、法面延長1.9km）（図-1）と岩盤平場10ha（植栽面積）を緑化して森林の再生を試みている。岩盤法面には岩盤の状態が異なる3試験区（法面A、法面B、法面C）を設定して、ポット苗木を植えつけて生育状況を記録した。各試験区は400m²で法面には根床（植え穴、図-2）を設けて、各樹木の苗木を3本ずつ巣植えにした。苗木の植栽は2002年の11月に行ない、

*大成建設（株）技術センター、水域・生物環境研究室 Hydraulic and Bio-engineering Research Section, Technology Center, Taisei Corporation, Nase-cho 344-1, Totsuka-ku, Yokohama 245-0051 JAPAN, **大成建設（株）エコロジー本部

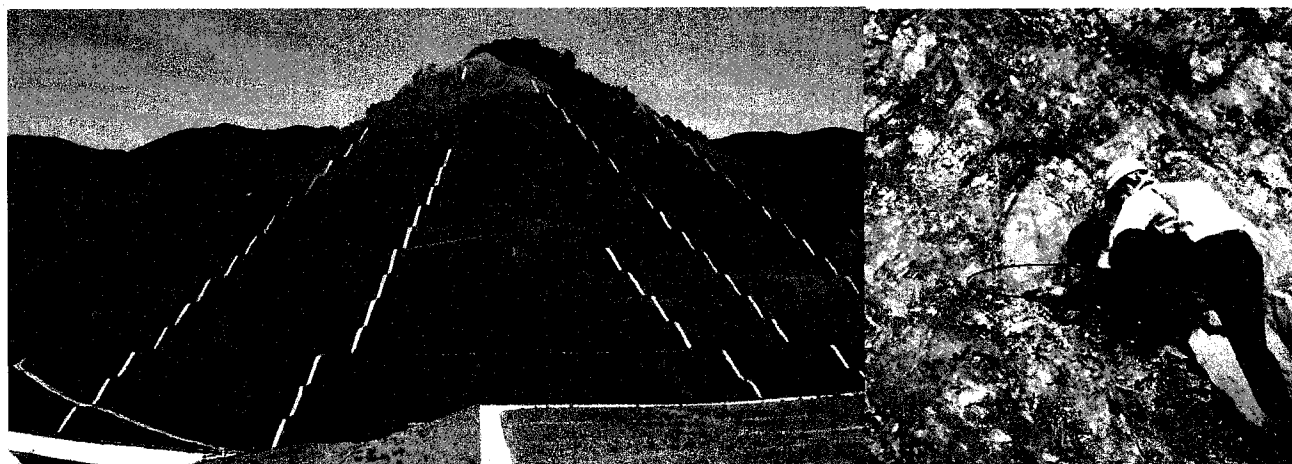


図-1 岩盤法面の全景 (2004 年 12 月撮影)

図-2 岩盤に作った窪み (根床)

2004 年 11 月に 1 回目の生育調査を実施した。2005 年 7 月～8 月に生育調査と土壌の採取を実施した。2006 年 8 月に生育調査を実施した。

各根床における生育環境を表-1 に示す。法面 A は、未風化で亀裂、湧水とも少ない法面である。法面 B は、風化が進んで亀裂が多いが、湧水は少ない法面、法面 C では風化はあまり進んでいないが亀裂は多く湧水も多く見られる法面である (大川原 2005)。各根床に移植した苗木が 1 本でも生育していた時に生存 (生育あり) と判断した。

2. 2 水分含有率の測定 (2005 年実施)

土壌のサンプリングは、表層 5cm の土を除き、20ml 程度の土壌を採取した。土壌の採取は、7 月 14-15 日、7 月 31-8 月 1 日、8 月 7 日-8 月 8 日、8 月 14-15 日、8 月 21 日-22 日の 5 回行った。サンプルを採取した根床 (植え穴) は A 法面で 73 点、B 法面で 87 点、C 法面で 94 点である。土壌試料は各根床から 1 点採取した。土壌はそのまま密閉したビニール袋に入れて持ち帰り、湿重を測定後 110℃ で乾燥して乾重を測定した。乾燥重量測定後の試料を肥料成分測定の試料とした。水分含有量測定期間中の気温ならびに降水量は、試験地に最も近い紀勢町のアメダスデータを使用した。法面の地温の測定も実施したが、各法面間で大きな差異はみられなかった。気象データについては省略した。

表-1 各試験区における根床の生育環境

試験区 特徴	各根床のスコア値の平均値		
	A 灰色-黒色の岩盤	B 茶色で亀裂の多い岩盤	C 湧水が確認できる岩盤
調査根床数	73	87	94
風化度 ¹⁾	1.00	2.21	1.00
地質区分 ²⁾	1.58	1.30	1.40
亀裂 ³⁾	1.58	2.28	2.50
湧水 ⁴⁾	1.48	1.00	1.68
スコアの合計	5.64	6.79	6.58

1) 風化度 1: 弱い風化、2: 中程度の風化、3: 強度の風化

2) 地質区分 1: 砂岩、2: 頁岩 (泥岩)、3: 表土

3) 亀裂 1: 亀裂が無い、2: 中程度の亀裂がある、3: 亀裂が多い

4) 湧水 1: 湧水がほとんど無い、2: 幾分湿り気がある、3: 常時湧水がみられる

2. 3 肥料成分の測定 (2005 年実施)

土壌試料は粉碎後、C/N レコーダーにより全炭素と全窒素含有量を測定した。またリン酸含有量と、交換性イオン (Ca、Mg、K、Na) は定法にしたがって測定した (土壌標準分析・測定法委員会編、1986)。

3 調査結果および考察

3. 1 岩盤法面での苗木の生育状況

各法面別の苗木の生育状況を湧水と亀裂のスコア (表-1 参照) に関して集計した結果を表-2 に示す。各試験区を比較すると、2004 年から 2006 年にかけて、A 法面で生存率が 47% から 22% へ低下した。同様に B 法面で 71% から 59% へ、C 法面で 77% から 54% へ生存率が低下した。2006 年での各法面の生存率を比較すると、岩盤表面に亀裂の多い B 法面と C 法面で生存率が高い傾向がみられた。表-3 の風化度と地質区分に関しては、法面 B では、泥岩 (地質区分 2) での生存率が高い傾向が得られたが、他の法面では地質の違いによる顕著な差は認められなかった。各法面とも 2004 年の調査時より生存率が最大 25% 低下しており、厳しい環境状態で枯死する苗木が増加する傾向がみられた。

表-2 法面別生存率 (湧水と岩盤亀裂)

試験区	根床(植穴)の状態		2004年生育状況				2005年生育状況				2006年生育状況			
	湧水スコア	亀裂スコア	生育あり*	生育なし	根床数	生存率	生育あり*	生育なし	根床数	生存率	生育あり*	生育なし	根床数	生存率
法面A	1	1	15	15	30	50	10	20	30	33	8	22	30	27
		2	3	13	16	19	2	14	16	13	2	14	16	13
		3	1	0	1	100	1	0	1	100	0	1	1	0
	2	1	2	4	6	33	1	5	6	17	0	6	6	0
		2	2	5	7	29	2	5	7	29	1	6	7	14
		3	4	0	4	100	3	1	4	75	2	2	4	50
	3	1	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-
		2	6	1	7	86	6	1	7	86	3	4	7	43
		3	1	1	2	50	0	2	2	0	0	2	2	0
	小計		34	39	73	47	25	48	73	34	16	57	73	22
法面B	1	1	4	5	9	44	4	5	9	44	3	6	9	33
		2	31	14	45	69	27	18	45	60	27	18	45	60
		3	27	6	33	82	25	8	33	76	21	12	33	64
	小計		62	25	87	71	56	31	87	64	51	36	87	59
法面C	1	1	2	2	4	50	2	2	4	50	0	4	4	50
		2	12	5	17	71	9	8	17	53	8	9	17	47
		3	19	5	24	79	17	7	24	71	16	8	24	67
	2	1	2	0	2	100	2	0	2	100	1	1	2	50
		2	9	3	12	75	7	5	12	58	6	6	12	50
		3	15	2	17	88	14	3	17	82	11	6	17	65
	3	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
		2	1	2	3	33	1	2	3	33	1	2	3	33
		3	12	2	14	86	10	4	14	71	8	6	14	57
	小計		72	22	94	77	62	32	94	66	51	43	94	54

*各根床に3本ずつ植栽を行い、1本以上生育していた根床数。

表-3 法面別生存率のまとめ (風化度と地質区分)

試験区	根床(植穴の状態)		2004年生育状況				2005年生育状況				2006年生育状況			
	風化度スコア	地質区分	生育あり	生育なし	根床数	生存率	生育あり	生育なし	根床数	生存率	生育あり	生育なし	根床数	生存率
法面A	1	1	14	17	31	45	9	22	31	29	4	27	31	29
		2	20	22	42	48	16	26	42	38	12	30	42	38
	小計		34	39	73	47	25	48	73	34	16	57	73	22
法面B	1	1	1	3	4	25	1	3	4	25	1	3	4	25
	2	1	31	12	43	72	26	17	43	60	25	18	43	58
		2	14	4	18	78	14	4	18	78	13	5	18	72
	3	1	10	4	14	71	10	4	14	71	6	8	14	43
		2	5	2	7	71	5	2	7	71	5	2	7	71
		3	1	0	1	100	0	1	1	0	0	1	1	0
小計		62	25	87	71	56	31	87	64	51	36	87	59	
法面C	1	1	43	13	56	77	40	16	56	71	32	24	56	57
		2	29	9	38	76	22	16	38	58	19	19	38	50
	小計		72	22	94	77	62	32	94	66	51	43	94	54

*各根床に3本ずつ植栽を行い、1本以上生育していた根床数。

各樹種の法面での生育状況を表-4 に示す。2005 年の場合と同様、2006 年の調査ではアカメガシワやシャブシなどの先駆樹種での枯死が多くみられた (大川原 2006)。同じ先駆樹種でもアキグミの生存率は50%で2005 年時の生存率と大きな変化は無かった。これらの樹種は地上部の生育が早く、2004 年の調査時には

他の樹種より大きく生育していた。地上部が過繁茂したのに対して、水分を供給する根床の体積は限られているため水分の供給が地上部の生育においつかないために枯死したものが多いと考えられる。また地上部が相対的に重くなり、倒伏した個体もみられた。これに対してリョウブ、ウバメガシ、ネズミモチなどの樹種は生育が遅いが、2004年から2006年にかけて生存率の大きな低下はみられず良好な活着状況にあると考えられた。

表-4 樹種別生存率（法面での植栽結果）

樹種	根床数*	2004年		2005年		2006年	
		生存数**	生存率	生存数**	生存率	生存数**	生存率
アカメガシワ	35	25	71	12	34	6	17
アキグミ	34	24	71	19	56	18	53
ウツギ	39	27	69	21	54	16	41
ヤシヤブシ	32	10	31	7	22	3	9
アラカシ	24	14	58	15	63	9	38
リョウブ	21	3	14	3	14	2	10
ウバメガシ	24	23	96	23	96	22	94
ネズミモチ	22	20	91	20	91	19	86
クロマツ	23	23	100	23	100	23	100

*植栽を行った根床（植穴）数、各植穴に3本の苗木を定植した。

**3本の苗木のうち1本以上生育している植穴（根床）数。



図-3 ネズミモチ（2006年法面C）



図-4 クロマツ（法面C）



図-5 アキグミ（法面C）

3. 2 岩盤平場での苗木の生育状況

平場の植栽はポット苗の列植を基本とした。単なる緑化を目的とするだけでなく、林業として利用可能な有用樹種を選定して、自然配植緑化技術を用いた1haの試験区を設けた（渡辺、今野、濱田 2003）。薬木としてキハダ、トチュウ、テンダイウヤク、メグスリノキ、材木としてクヌギ、コナラ、アラカシ、造園木としてイロハモミジ、ヤマモミジ、シダレモミジ、先駆性樹種としてウツギ、アキグミ、ヤマハンノキ、ネムノキを選定した。2005年2月に行なった調査では平場の全体の生存率は73.4%となり（表-5）、法面の場合（34～66%）と比較して生存率は高い傾向を示した。しかし、2005年のコナラ、ヤマハンノキ、ネムノキの生存率は2～56%と非常に低く、2006年には追加の植栽を実施した。この原因として野生のシカによる食害があげられる。2004年の8月以降、シカが侵入した痕跡がみられるようになり、若芽を中心に深刻な食害がみられた。このようなシカによるコナラなどの食害は原石山法面の緑化事例でも同様に報告されている（池田と山口 2003）。これに対して、先駆樹種の中では、アキグミが食害も少なく良好な生育を示した。平場においては、岩盤上に散布したチップ材の生育に対する影響についても調査を実施したが、シカの食害などの影響により、効果は明らかにならなかった。



表-5 樹種別生存率(平場での植栽結果)

樹種	植栽数	2005年		2006年	
		生存数	生存率	生存数	生存率
アカガシ	156	152	97	135	87
アキグミ	194	190	98	145	75
イロハモミジ	231	155	67	123	53
ウツギ	243	238	98	190	78
キハダ	281	245	87	164	58
クヌギ	188	165	88	147	78
コナラ*	329	184	56	249	76
シダレモミジ	289	203	70	125	43
テンダイウヤク	272	263	97	234	86
トチュウ	276	273	99	215	78
メグスリノキ	87	38	44	25	29
ヤマハンノキ*	108	20	19	49	45
ヤマモミジ	217	158	73	97	45
ネムノキ*	247	5	2	121	49
総数	3118	2289	73	2019	65

*これらの樹種は2006年に再度植えつけたため、2006年調査時の生存数が増えている。

図-6 岩盤平場の植栽状況 (2004年)

3. 3 岩盤の性状と法面に植栽した苗木の生存率の関係

法面試験区の岩盤性状と植栽4年目の苗木生存率(2006年8月の調査結果)との関係を表-6にまとめた。岩盤性状のうち、亀裂が多い岩盤ほど苗木の生存率が高くなる傾向がみられた(表-6A)。若干ではあるものの、風化度も高い方が生存率が高い傾向がみられた(表-6B)。一方、湧水や地質区分のスコアと生存率の関係については、顕著な傾向は認められなかった(表-6CとD)。採石跡地の岩盤法面に対して、穿孔によりアキグミやヤナギを岩盤さし木工法で植栽した事例では、基岩に亀裂の多い箇所では根系が広範囲に伸張し、地上部の生長量も高いことが報告されている(須永、山寺、宮崎 2004)。これらの事は、岩盤緑化においては、苗床となる岩盤の亀裂や風化の程度が苗木の生育に大きな影響を及ぼす事を示唆している。

表-6 岩盤法面の性状と苗木生存率の関係

A 亀裂スコア別の生存率

亀裂スコア	生存あり	生存なし	根床数	生存率
1	12	40	52	23.1
2	48	59	107	44.9
3	58	37	95	61.1

B 風化度スコア別の生存率

風化度スコア	生存あり	生存なし	根床数	生存率
1	68	103	171	39.8
2	38	23	61	62.3
3	12	10	22	54.5

C 湧水スコア別の生存率

湧水スコア	生存あり	生存なし	根床数	生存率
1	85	94	179	47.5
2	21	27	48	43.8
3	12	15	27	44.4

D 地質区分別の生存率

地質区分	生存あり	生存なし	根床数	生存率
1	68	80	148	45.9
2	49	56	105	46.7

*スコアおよび地質区分については表-1参照

表-7 苗木の生存と根床土壌の物理化学的特性との関係

生育状況		含水率 (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	P2O5 (mg/kg)	交換性イオン(meq/100 g)				
							Ca	Mg	Na	K	Total
生存	平均値	13.4	3.2	0.1	24.8	281.5	22.4	1.3	0.2	0.5	24.4
	SD	7.3	0.6	0.0	3.4	157.6	5.3	0.5	0.1	0.2	5.3
枯死	平均値	11.8	2.9	0.1	24.8	235.3	22.1	1.1	0.3	0.6	24.1
	SD	7.1	0.6	0.0	4.0	149.2	5.8	0.3	0.1	0.2	5.8

3. 4 法面に植栽した苗木の生存率と根床の土壌性状との関係

各根床の植栽基盤となっている土壌中の含水率（サンプル採取日の異なる5回の平均値）および各肥料成分の含有量と苗木の生存状況との関係を表-7に示す。苗木が生存している根床では、水分含有率が若干高い傾向がみられた。各肥料成分の含有量については生存した苗木の根床で若干高い傾向がみられるのは、有効態リン酸の含有量だけで、他の成分では、ほぼ同じ平均値を示した。

4 まとめ

2004年から2006年にかけて1年毎に植栽状況の調査を実施した結果、苗木の生存率は年間あたり約10%ずつ低下しており、完全な定着までにはなお時間がかかると予測された。2005年の調査以降は、樹種間の生存率の差も明らかになり、岩盤面での生長では必ずしも生育の早いアカメガシワなどの先駆樹種が有利ではない事が示唆された。法面の岩盤や土壌性状と苗木の生育との関係についてみると、湧水や岩盤の風化などと密接に関わる土壌の含水量や可吸態リン酸含有量と共に、岩盤の物理的な亀裂は苗木の根系の発達をうながし、岩盤法面での苗木の生存にとって、重要な要因であると推察された。

引用文献

池田穰、山口修一「ポット苗樹木による法面緑化の経時的変化」（2003）土木学会第58回年次学術講演会 pp.409-410.

大川原良次「自然環境保全・回復のための緑化手法の検討」ー土砂採取場跡地における森林再生緑化事例からー（2005）土木学会第13回地球環境シンポジウム講演論文集 pp.237-242

大川原良次「岩盤法面緑化手法の検討」ー緑化岩盤法面の水・栄養状態の変化ー（2006）土木学会第14回地球環境シンポジウム講演論文集 pp. 229 -234

須永哲明、山寺喜成、宮崎敏孝 岩盤法面におけるヤナギ等さし木植物の根系伸長（2004）中部森林研究 No.52、p 87-88.

渡辺篤、今野剛志、濱田武人「開発跡地における植栽の検討～新しい林業モデルの試みに関して～」（2003）土木学会第58回年次学術講演会 pp.403-404

土壌標準分析・測定法（1986）土壌標準分析・測定法委員会編、日本土壌肥料学会監修、博友社