

捨石・鉱さいたい積場緑化の手引

金属鉱業事業団



序

金属鉱業等においては、一般の製造業と異なり操業を休廃止した後でも概して二つの鉱害発生源が残る場合が多い。

その一つは、坑道の坑口から流出する有害な坑内水であり、もう一つは、有害な金属を含む多量の捨石・鉱さいのたい積物である。

前者については、半永久的に流出し続けるであろう坑内水をより低コストで処理する方法を金属鉱業事業団に調査研究してもらっているところである。

後者については、たい積物の流出や飛散の防止、景観の回復等のためにたい積場の緑化が現実的かつ有効な手段であるが、その緑化の手順、工法、その他の点においてなかなか困難なところが多く、これまで各鉱山ごとに暗中模索、試行錯誤の状態であった。

このたび、金属鉱業事業団がこれまでの調査研究の成果を集大成し、技術指導書として上梓する運びとなったことは鉱害防止行政に携わる者にとっても心強い限りである。

たい積場緑化に従事する各位におかれでは、本書を十分に活用され、鉱害防止事業の実を上げられることを希望してやまない。

昭和58年12月

通商産業省立地公害局鉱山課長

久賀俊正

「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」の刊行に当たって

金属鉱山におけるたい積場の緑化は、鉱害防止対策の一環として重要であることは勿論である。金属鉱山等保安規則においても覆土、植栽等の措置義務が規定されているが、たい積場は気候、地形、たい積物の性状、周辺植物の種類等考慮すべき要素が多く、緑化工施工の定型化が困難である。

金属鉱業事業団は、昭和50年から全国31鉱山、65たい積場の植生調査と北海道幌別硫黄鉱山、青森県大正西又鉱山、下北川内鉱山、秋田県小杉沢鉱山、岩手県松尾鉱山、福島県与内畠鉱山、和歌山県妙法鉱山及び大分県豊栄鉱山のたい積場において植栽試験を実施し、これらのたい積場の最適な緑化工法を調査してきた。本書はこれらの調査研究による知見と緑化関係の刊行物を参考、引用させていただき「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」としてまとめた。また、本書は全国の多様なたい積場を念頭に編集したもので、これに携わる多くの方の指針として有効に活用されることを願うものである。

本書の刊行に当たって御指導を賜わった金属鉱業事業団鉱害防止技術委員、編纂に携わった緑化専門部会の各位をはじめ、文献の引用を快諾いただいた社団法人道路緑化保全協会及び著者各位に対し深く感謝申し上げる次第である。

昭和58年12月

金属鉱業事業団

理事長 西家正起

金属鉱業事業団鉱害防止技術委員会

委員長	武内壽久	東京大学工学部
委員	青島輝夫	同和鉱業株式会社
	石原透	公害資源研究所
	今井和民	岡山大学農学部
	梅崎芳美	中国工業技術試験所
	太田寛一	(前)三井金属鉱業株式会社
	黒田和男	地質調査所
	小島圭二	東京大学工学部
	小島康司	日本鉱業株式会社
	佐藤邦明	埼玉大学工学部
	笛本邦夫	三菱金属株式会社
	清水昭	三井金属鉱業株式会社
	堤信夫	日本鉱業協会
	寺田孚巖	京都大学工学部
	永野巖	埼玉大学教養部
	西松裕一	東京大学工学部
	長谷部茂	岩手大学工学部
	林裕貴	機動建設株式会社
	原田種臣	早稲田大学理工学部
	森下政晃	住友金属鉱山株式会社
	山口梅太郎	東京大学工学部
	山口柏樹	名古屋大学工学部
	山口宗男	微生物工業技術研究所
	吉中龍之進	埼玉大学工学部

(五十音順)

緑化専門部会

部会長	林 裕貴
委員	太田 寛一巖

(五十音順)

編纂指導

山寺喜成 東京農業大学農学部

たい積場緑化の現状

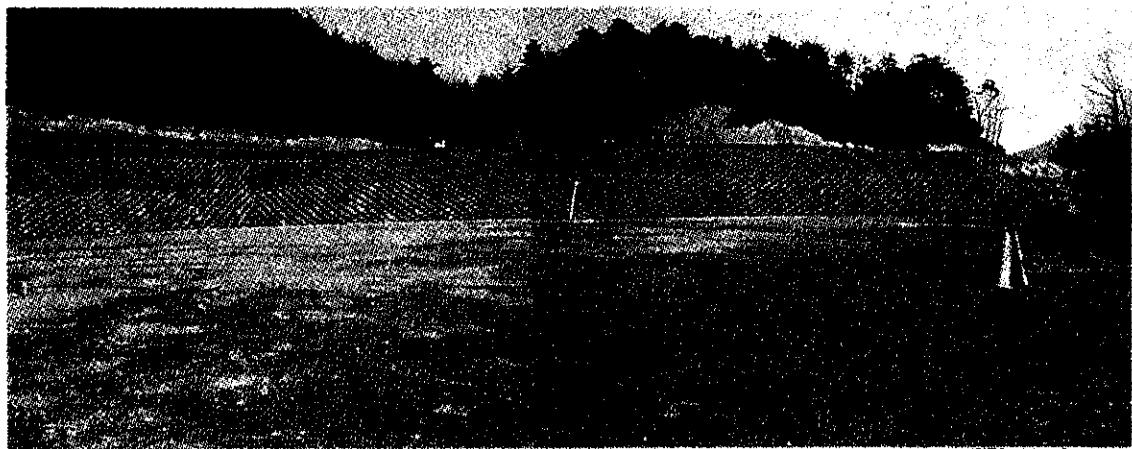
我が国には北海道から九州にかけ、数百にのぼるたい積場が存在する。たい積場の立地的環境、規模、たい積物、形状などはさまざまであるが、日本列島の地形的特徴から、主として沢や渓谷を利用して設置されている場合が多い。また、現在使用中のたい積場もあるが、大部分は鉱山自体の休廃止にともない、保安管理と緑化作業が進められている。

たい積場のなかで、山間部の小規模たい積場では生態遷移が徐々に進行し、多年生草本期を経て陽性低木期に到達しているたい積場もある。例えば、湿性立地においては、ヨシ群落 → シラカンバ低木群落、又はケヤマハンノキ低木群落、乾性立地ではススキ群落 → アカマツ低木群落、中性立地ではヘビノネゴザ → バッコヤナギ群落などである。特に整形覆土後、牧草などによる人為的綠化が施工されているたい積場の場合には、生態遷移は急速に進み陽性低木期を経て、すでに階層構造も明確な亜高木期に達しているたい積場もある。たい積場における生態遷移の進行は自然、人為綠化を問わず平坦な立地よりもむしろ傾斜面で著しい。このような正常な生態遷移とは別に、自然放置のたい積場では局所的に多年性草本期を経ず、直接陽性低木類が侵入することもしばしば見受けられる。しかし、構造的にはコケ層と草本層を欠陥しており極めて不安定である。したがって、正常な生態遷移を発展させるためには、初期段階、即ち裸地から草本期形成にすべての成否がかかっている。

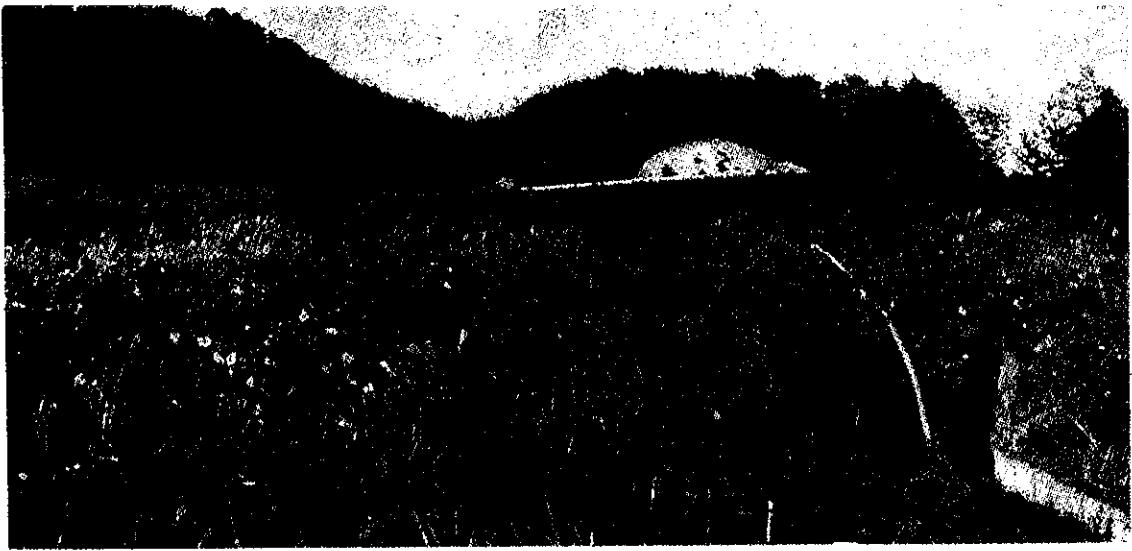
一方、大規模、かつ平坦なたい積場とか、たとえ小規模であっても常にたい積場の表層が飛散又は洗脱するようなたい積場の場合には自然の営力による生態遷移の発展は極めて困難である。特に多くのたい積場では覆土材の問題が深刻であり、それぞれたい積場の立地条件に応じた綠化工が工夫されている。例えば、大規模たい積場では整形後、礫被覆による周縁部からのベルト状綠化とか、覆土プラス礫被覆による綠化で成功している事例もある。しかし、自然ないし人工的手法によって生態遷移を進めるとしても、日本のように多様な環境下に存在するたい積場の場合には、対象が生きものだけに、きめ細かな対応と基本事項に関する指導指針が要求されているのが現状である。



施工前（昭和50年）



施工中（昭和52年）



施工後（昭和58年）

たい積場緑化工事の一例(鳥取県岩美鉱山第4捨石たい積場)

目 次

たい積場緑化の現状

1章　たい積場緑化に対する考え方	1
1・1　たい積場緑化の目的	1
1・2　たい積場緑化の在り方	1
2章　事前調査	3
2・1　たい積場の資料収集	3
2・2　気象に関する調査	3
2・3　たい積場に関する調査	6
2・4　植物に関する調査	7
2・5　その他	7
3章　緑化の条件	8
3・1　緑化を阻む要因	8
3・2　緑化工の適用要因	8
3・2・1　緑化しやすい要因	8
3・2・2　緑化が難しい要因	10
4章　緑化手順の考え方	11
4・1　緑化目標	11
4・2　植物の選択	11
4・3　緑化基礎工	11
4・4　植生工	12
4・5　保護管理	12

5章 緑化工法	13
5・1 植物の選択	13
5・1・1 在来種	13
5・1・2 外来種	14
5・1・3 気象・土地別の適性植物	15
5・2 緑化基礎工	26
5・2・1 たい積場の整形	26
5・2・2 侵食防止（斜面補強工）	29
5・2・3 土壌改良工	38
5・2・4 排水工	71
5・2・5 気象対策	73
5・3 植生工	77
5・3・1 播種工	78
5・3・2 植栽工	104
5・3・3 自然植生誘導工	113
6章 保護管理	122
6・1 生育調査	122
6・1・1 個体密度の測定	122
6・1・2 草丈の測定	122
6・1・3 植物被覆率（被度・被覆度）の測定	123
6・2 管理	123
6・2・1 平坦地及び緩傾斜地の管理	123
6・2・2 傾斜地（のり面）の管理	123
6・2・3 寒冷地における管理	124
あとがき	127
図表一覧	128
引用及び参考文献	131

1章 たい積場緑化に対する考え方

1・1 たい積場緑化の目的

捨石・鉱さいたい積場などには、鉱害防止対策の一環として、従来、覆土・植栽等の適当な措置が講じられてきた。特に昭和40年代には、カドミウム、ひ素などの重金属による鉱害が社会問題になって、一層推進された。さらに、近年は環境保全、自然保護の視点からも緑化の要請が高まっている。

緑化の効用は、以下のとおりである。

a. たい積物の流出防止

たい積場を緑化することによって、たい積場表面が雨水による洗掘から保護され、浮遊物質、有害成分の排出が防止される。このことによって、下流域の河床が上昇し増水時の溢流や取水堰の埋没による取水不能などの障害、農地の土壤汚染の防止に効果がある。

b. たい積物の風による飛散防止

たい積物の表面を緑化することによって、風による土砂の舞い上りや飛散が防止できる。

c. 環境、景観の保全

たい積場を緑化することによって、周囲の植生、自然との調和が保たれる。なお、「覆土・植栽」をすることによってたい積場の浸透水減少対策として効果が発揮される場合もある。（この場合の覆土厚さは、植物の生育基盤としての覆土厚さとは別の観点から考慮すべきであることは言うまでもないが、本書では専ら前述の観点からの検討成果を記述している。）

1・2 たい積場緑化の在り方

たい積場の立地条件を考えたとき、生態遷移（自然の復元力）を無視して緑化計画を立てることは好ましくない。従来ややもすれば早急に緑化を図ろうとするあまり、単に緑にすればよいという考え方から植物の種類を無視して緑化を進めた結果、一時的な緑化しか得られなかった例も見聞される。

1章 たい積場緑化に対する考え方

したがって、緑化を進めるに当たっては、生態遷移の重要性を認識するとともに、緑の質を考えなければならない。たい積場緑化の目的の一つに、たい積物の流出防止がある。特に傾斜地の場合には、早期、かつ確実に緑の復元が要請されている。しかし、実際問題として、生態遷移の営力のみにまかせると植生が安定に達するまでに長い年月を要する場合が多い。そこで、生態遷移の進行を促進するため、生育基盤を整備し、侵食されやすい箇所は、人為的に先駆植物（一般的には生長の早い外来種（牧草））を播種して早急に緑化を計り、在来種の侵入を待つようにする。

即ち、たい積場の緑化対策の基本的な考え方としては、緑化計画の作成に当たって、生態遷移を念頭に置き、多様かつ持続する植生が形成されるように、緑化工法を選ぶことが大切である。

2章 事前調査

土木構造物や建築物は竣工した時点が最も完成度が高い。しかし、緑化は施工後の年数が経過するにともない次第に安定し、効果が発揮される。

たい積場は、酸性土、硬質土、乾燥地、湿地、急傾斜地など植物の生育に不適当な場所にあることが多いので、事前調査を行い、緑化工法の選択に必要な諸条件を吟味する必要がある。

緑化計画、緑化工法を検討する際、特に重要なと思われる調査事項は、次のとおりである。

- (1) たい積場……たい積物、表層、水分、性質（物理性、化学性）、形状、広さ
- (2) 植生……たい積場内、外の植生
- (3) 気象、立地……温度、雨、雪、風
- (4) その他……緑化材料の搬入、覆土材、景観

これらに関する調査項目を次に列記する。

2・1 たい積場の資料収集

- (1) たい積場の経歴
- (2) たい積物
- (3) たい積場の面積
- (4) たい積場の図面

2・2 気象に関する調査

- (1) 気温（年平均気温、月平均気温、最高最低気温）
- (2) 雨量（年平均降水量、月別降水量、降雨日数、最大日雨量）
- (3) 積雪（積雪深度、積雪期間、なだれ発生地）
- (4) 凍上、霜柱（凍結深度、霜柱の高さ）
- (5) 集中豪雨の多発地、過去の災害資料

2章 事前調査

これらは、適応植物、緑化適期、緑化施工可能期間並びに植物生育基盤整備工などの検討資料にする。資料は少なくとも5カ年間のデータより作成するのが望ましい。なお資料の収集整理が困難な場合は聴取などで概況を知るようにする。気象に関するデータは、緑化施工予定地に近い気象観測所のデータなどを用い、例えば次のようにまとめる。

気温（月別平均気温、年平均気温、5カ年間の平均気温、暖かさの指
※※
数、寒さの指数）

年 月	1, 2, 3, 1 2	平均
昭和 年		
⋮		
5年間の平均		

年 月	1, 2, 3, 1 2	
平均気温 (推定値)		
暖かさの指数		
寒さの指数		

気象観測所の標高と緑化地の標高に差がある場合は、高度補正(100mにつき0.6℃)を行い、推定値を出す。

〔暖かさの指数(W.I.)〕の計算法

各月平均気温の値から、植物の生活に必要な生理的最低温度の平均を5℃と考え、それぞれ5℃を引く。(平均気温が5℃以下の月は0とする。)この値の1年間の総和を暖かさの指数又は温量指数という。

〔寒さの指数(C.I.)〕の計算法

月平均気温5℃以下の月だけについて、月平均気温から5℃を引く。この値

2章 事前調査

の1年間の総和を寒さの指数という。

日本の森林帯を暖かさの指数によって区分すると、次のようになる。

亜熱帯降雨林(180~240)

常緑広葉樹林(85~180)

落葉広葉樹林(45又は55~85)

常緑針葉樹林(15~45又は55)

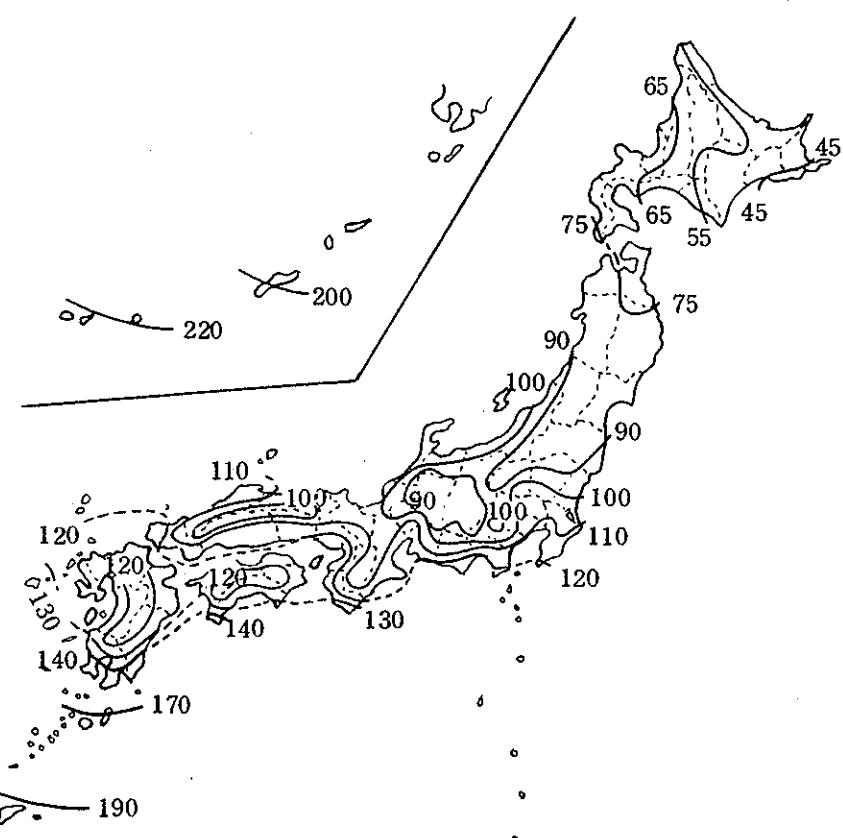


図-2.1 暖かさの指数による等温線(農林水産技術会議, 1963に加筆)

雨量(月別降水量, 年間降水量, 月別降雨日数, 最大日雨量)

年 年	月 1, 2, 3, 12	計	最大日雨量
昭和 年			
5年間の平均			

2章 事前調査

月別降雨日数

年	月	1, 2, 3, 12	計
昭和年	⋮		
5年間の平均			

無降水期間が春夏季では30日以上、冬季では40日以上になる場合、乾燥しやすい造林地では干害が生ずることがある。

実験の結果によると、夏季に無降水日数が10日前後続くと、低木類の一部に被害が生じ、30日以上連続すると低木類の大半に被害が生ずる。¹⁾

積雪（積雪深度、積雪期間、なだれ発生地）

最深積雪の平均50cm線が、我が国では多雪と寡雪地帯の境界線である。ササ類の分布は積雪量と密接な関係があって、この分布境界線は、植物地理学上ミヤコザサ線（積雪50cm）と呼ばれている。この線以上の積雪地帯では、何らかの積雪対策が必要である。²⁾³⁾

2・3 たい積場に関する調査

- (1) たい積物の表層（土壤の有無、土性、厚さ、雨裂、風による飛散）
- (2) たい積場の水（地下水位、湧水、排水の良否）
- (3) たい積物の物理性（硬度、保水性、透水性、通気性、乾湿性、凍上性）
- (4) たい積物の化学性（pH、有害重金属）

有害重金属（Hg, Cd, As, Cuなど）は基礎資料として可溶性分量を測定する。一般的にたい積物は植物の生育阻害を起す程の可溶性重金属を含むことは稀である。

- (5) 標高
- (6) 周辺の地形
- (7) のり面（方位、傾斜、長さ、風当り、日照）

これらは、生育基盤整備工の検討や、機械による緑化施工の可否を調べる資料にする。

2・4 植物に関する調査

(1) たい積場内の植生

人為植生(緑化工)の有無、自然植生について、優占する草本類、木本類の種名と被度

(2) たい積場周辺の植生

優占する草本類、木本類の種名、生育状況の概況

2・5 その他

(1) 緑化施工用の機材の搬入

トラック、ブルドーザなどが通行可能な道路の有無及び仮設道路建設の可否

(2) 覆土材(客土材)

覆土材入手の難易、覆土材の量と質

(3) 景観

景観について、配慮の必要性と度合など

3章 緑化の条件

緑化を成功させるためには、まず植物が発芽し、生長を続ける諸条件と、たい積場の現況との格差を比較することが必要である。

たい積場によっては、緑化に不適当な制限要因がいろいろ重なっていることもある。したがって、これら制限要因や制約条件のうち、特に重要と思われる項目を摘出して、2章の「事前調査」の結果に基づいて検討する。

3・1 緑化を阻む要因

緑化工及び生態遷移の進行を阻む要因としては、次のような項目をあげることができる。

- ①基盤が傾斜地で種子が流亡しやすい。
- ②たい積場が冷温帶上部とか亜寒帯に立地している場合には、霜害、凍上害、風衝害などの恐れがある。
- ③たい積物が硬い、強酸性、乾燥しやすいなど物理的、化学的性質が劣悪である。

これら諸要因を基盤整備及び緑化工事の難易さを考慮して表-3.1に示すようにランク付けする。

3・2 緑化工の適用要因

日本各地にみられるたい積場は、立地、大きさ、形態などが多様である。したがって、緑化工を選択するに当たっては、表-3.1の各欄に具体的データを入れて検討する。その結果に基づき、緑化工の難易さは、およそ次のように整理できる。

3・2・1 緑化しやすい要因

たい積場及び植生の項目が、aないし一部bランクであれば、気象・立地がbないし一部cランクであっても、緑化は容易で、生態遷移を助成する程度の

3章 緑化の条件

表-3.1 たい積場緑化の要因分類(事前調査まとめ)

項目	大項目	中項目	小項目	緑化工の難易度※			備考
				aランク	bランク	cランク	
たい い 積 場	たい積物	捨石・ 鉱さい	粒度	砂状	粒状	粘土状, 礫, 岩塊状	
	表層	土壤	厚さ	10cm以上	0~10cm	0	
			土性	壤土	砂壤土, 塗 壤土	砂土, 塗土	日本農学会法による土性 区分
	水分		乾湿	適度な湿り あり	乾燥, 湿潤 の程度が小 さい	乾燥, 湿潤 の程度が大 きい	湧水, 地下水位を付記
	性質	物理性	硬度	10~23mm	23~27mm	10mm以下 又は27mm 以上	山中式硬度計による。 その他の物理性を付記
		化学性	pH	5以上7.5 未満	3.5以上5 未満又は 7.5以上8.5 未満	3.5未満 又は8.5以 上	強アルカリの場合は別途 方策を立てる。有害重金 属類については可溶性分 量について付記
	形状	のり面	勾配	25°未満	25°以上 45°未満	45°以上	面積及び雨裂の有無を付 記
			方位	東面, 南面	西面	北面	
			長さ	10m未満	10m以上 30m未満	30m以上	
	広さ		緑化対象面積	300m ² 未満	300m ² 以上 5,000m ² 未満	5,000m ² 以上	
植生	たい積場内の植生	人為植生(緑化工事)	生育状況	生育普通	貧弱	衰退, 枯死	緑化工事の施工年次, 仕 様を付記
		自然植生(生態遷移)	草本類 木本類	種類多, 被 度大	種類中, 被 度中	種類少, 被 度小	たい積場の使用終了時期 を付記
	たい積場周辺の植生		草本類 木本類	種類多, 被 度大	種類中, 被 度中	種類少, 被 度小	たい積場から150m以内 の植生(自然, 人為)に ついて調査
気象・立地	立地		気候帯	暖温帶	冷温帶	亜寒帶	標高を付記
	気象		積雪	なし	50cm以下	50cm以上	雨量は乾期, 雨期, 豪雨 の有無を付記
			霜柱	小	中	大	
			風衝	小	中	大	
その他	機材搬入		道路	あり	なし, 仮設 道路建設可 能	仮設道路建 設不能ない し困難	トラック, ブルドーザ等 通行可能な道路 索道による機材搬入も検 討
	覆土材		入手	容易	可能	不能, 困難	入手は経済性, 量は厚さ を勘案して決める
			量	十分	やや不足	少	
			質	良, 普通	やや不良	不良	
	景観		配慮, 要求	なし	小	大	

※ aランク……容易, 普通

bランク……やや手数がかかる

cランク……困難

3章 緑化の条件

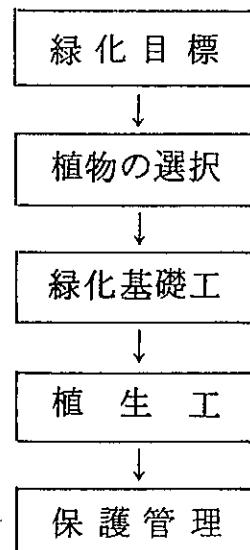
緑化工でよい。この場合、機材搬入及び覆土材が b, c ランクであっても障害は少ない。

3・2・2 緑化が難しい要因

たい積場及び気象・立地の項目について c ランクが多ければ、生育基盤の整備が必要であり、緑化基礎工、補助工を多く必要とする。さらに機材搬入及び覆土材が c ランクであれば緑化は大変難しい。しかしこの場合でも植生が b ランクであれば、この生態遷移を助成する方策を考えられる。

4章 緑化手順の考え方

緑化を進める手順を示すと、次のようになる。⁴⁾



4・1 緑化目標

たい積場の緑化は、1・1で述べた目的を達成するために、2章の「事前調査」の結果に基づき、さらに3・2の「緑化工の適用要因」を検討した上で工法を選ぶようとする。

4・2 植物の選択

緑化に用いる植物は、表-3.1のたい積場及び気象・立地などの条件を基に選択するようとする。また、自然植生の誘導に適した在来種についても検討しておく。

4・3 緑化基礎工

たい積場の中でも植物の生育に不適な土地、急傾斜のり面、排水不良箇所などについては、生育基盤改善のための緑化基礎工を行う必要がある。

4・4 植生工

植生工は播種工、植栽工及び自然植生誘導工に大別される。

4・5 保護管理

自然の営力で、生態遷移が軌道にのるまでは、施工後も調査を続ける必要がある。特に侵食の恐れのある傾斜地の管理は大切である。

以上に述べた緑化手順の要点を表-4.1に示す。

表-4.1 緑化手順

緑化目標	早急に緑化を要する。	生態遷移を主体にする。(期間を要する)
	侵食により鉱害の恐れのある場所。景観上の要求。	平坦地、緩傾斜地で侵食の恐れが少ない場所。山間僻地など。
緑化基礎工	生育基盤整備 侵食防止工	勾配25°以上のり面は緩傾斜(25°未満)に整形する。 整形ができない場合には、被覆工、柵工などで侵食を防止する。
	土壤改良工	強酸性土(pH 3.5未満)、重金属の特に多い箇所は、原則として覆土する。硬質土は改良する。酸性土でもpH改良可能又は、土壤改良剤や施肥で土壤改良が可能であれば、覆土なししか、わずかな覆土で良い。
	排水工	過湿地では、地下水の集排水工、湧水排水工及びのり肩の排水工事を行う。
	気象対策	暖温帯小雨地域、砂礫土などで干害が起こりやすい場所では、被覆工などで保水を図る。寒冷地、風衝地では、被覆工で霜柱、凍上害を防ぎ、また防雪、防風工を行う。
植生工	牧草の播種、木本類苗木の植栽 施工初期の形状は面状あるいは筋状	在来の草本、木本類を主体に播種、周辺の自然植生の誘導、施工初期の形状は筋状あるいは点状。
保護管理	生态遷移が軌道にのるまでの3~5年間を主に管理する。特にのり面で植生が劣り、土壤侵食が始まるとようであれば、緑化基礎工、補植などを行う。	

5章 緑化工法

緑化工事施工の目的は、環境保全に好ましい機能をもった植生を復元し、鉱害の防止、景観の保全を図ることにある。そのためには、可能な限り自然植生に近い緑化を図ることが望ましい。

5・1 植物の選択

たい積場の土地条件は、植物の生育にとって厳しいのが普通である。したがってそのような条件に耐え、かつ緑化効果をあげるためにには、まず適性種を選ぶことが肝要である。

以下に留意点をあげる。⁵⁾

(1) 保全効果の高い植物であること。

- ①早く生長し繁茂する。
- ②やせ土、乾燥、湿潤に耐える。
- ③耐陰性、耐酸性などの適応性が大きい。
- ④常緑多年生草本が好ましい。

(2) 必要量の植物材料が計画的に入手できること。

- ①種子が量的に十分である。
- ②養苗が容易で多量に生産できる。
- ③播種及び植栽期間が長い。
- ④萌芽力が旺盛である。

(3) 単純群落にならないように草本類に先駆樹種や肥料木などの木本類を組合せること。

なお、緑化植物は「在来種」と「外来種」に大別される。以下にこれらの種類の特徴について記述する。

5・1・1 在来種

在来種はたい積場周辺の環境に適応し、安定した植生を構成している。

5章 緑化工法

しかし、裸地化した広いたい積場に、在来種を最初から導入し、うまく適合させるためには、次の特性⁵⁾に留意して、使用計画を立てる必要がある。

- ①初期の発芽、生長が遅いものが多い。
- ②冬季に地上部が枯れるものが多く、地表被覆力が劣る。
- ③播種適期が短かい。
- ④春播き、夏播きが多く、秋播きが少ない。
- ⑤種子の中には、入手しにくく、値段の高いものがある。
- ⑥適応性、繁殖方法などについて、実用化の検討が不十分なものがある。

5・1・2 外来種

外来種の草本類は、緑化工に盛んに使用されており、次のような特性をもつ⁵⁾ている。

〔長所〕

- ①初期の生長が早く、よく繁茂する。したがって侵食防止の効果が早く、大きい。
- ②常緑多年生草本が多く、冬の侵食防止に適する。
- ③春播き、秋播きの両型が多く、施工期間が長い。
- ④純良な種子が、比較的安く、かつ多量に入手でき、緑化計画、施工に好都合である。
- ⑤性状が詳しく分っているものが多いため、安心して使用できる。

〔短所〕

- ①初期は旺盛に生育するが、比較的短期間（暖温地ではほぼ3年目、寒冷地では6～9年目頃から）に衰退する。
- ②一方、条件によっては、長い期間繁茂する場合もあり、生態遷移の妨げになることもある。

したがって、外来種を用いる場合は、短期間に衰退し、在来種による生態遷移が徐々に進行することを考慮して選択する必要がある。つまり外来種の使用基準は、おとり的緑化の役割を主体にし、播種方法、播種量、施肥などで生育を調整することが必要である。

5・1・3 気象・土質別の適性植物

我が国は広い緯度の間に位置しているので、暖温帯から亜寒帯に及ぶ多くの植物が生育しているが、やせ地、硬土地、乾地、湿地、酸性土など土質、乾湿によって適性植物は異なる。

たい積場に復元しようとする植生は終極には、高木、中低木、林床植生の三つの構成になるのが健全であるが、綠化工としては、表土層の保全のための草本類の植生工及び主構成種の生育環境を備え、保全するため、肥料木などを植栽するようにしている。

ここでは、気象、土質別に適性植物を、さらに分類してみる。⁵⁾

a. やせ地向植物

- ・在来の草本類……ヘビノネゴザ、ススキ、イタドリ類、ヨモギ類、タケニグサなど
- ・外来の草本類……ウイーピングラブグラス（WLG）、ケンタッキー31フェスク（K31F）、クリーピングレッドフェスク（CRF）、ホワイトクローバー（WC）、オーチャードグラス（OG）、ケンタッキーブルーグラス（KBG）、バーズフートトレフォイル（BFT）など
- ・肥料草木……ニセアカシア類、エンジュ、ネムノキ、ハギ類、エニシダ、コマツナギ、サイカチ、ハンノキ、ヤマハンノキ、ケヤマハンノキ、オオバヤシャブシ、ヤシャブシ、ヒメヤシャブシ、アキゲミ、モクマオウ、クサギ、ニワトコ、ヌルデ、アカメガシワ、ウツギ類、クコなど
- ・木本類……クロマツ、アカマツ、ドロノキ、ヤナギ類など

b. 寒冷地向植物

- ・在来の草本類……イタドリ類、ヨモギ類、ススキなど
- ・外来の草本類……ペレニアルライグラス（PRG）、クリーピングレッドフェスク（CRF）、ケンタッキー31フェスク（K31F）、ケンタッキーブルーグラス（KBG）、レッドトップ（RT）、オーチャードグラス（OG）、チモシー（Tim）、シープフェスク（SF）、バーズフートトレフォイル（BFT）など
- ・有望と思われる在来種……イワノガリヤス、ヒメノガリヤス、ヒメスゲ、コメススキ、ミヤマウシノケグサ、イワタデ、クロウスゴ、ハナヒリノキ、オオバスノキ、コタヌキラン、オンタデ、マルバシモツケ、ミヤマハンノキ、シラ

5章 緑化工法

カンバ, ダケカンバ, ナナカマド, ヤナギ類など

c. 乾地向植物

- ・在来の草本類……ススキ, トダシバ, チカラシバ, ヨモギ類, イタドリ類など
- ・外来の草本類……ウィーピングラブグラス(W L G), ホワイトクローバー(W C), バーズフートトレフォイル(B F T)など
- ・木本類……クロマツ, アカマツ, フジウツギ, クサボタン, ウツギ類, ウバメカジ, トベラ, ニセアカシア, ハギ類, ネムノキ, エニシダ, サイカチ, ヤシャフシ, オオバヤシヤフシ, ヒメヤシャブシ, クサギ, アキグミ, ナツグミ, ヤマモモ, ニワトコ, ヌルデ, アカメガシワ, クコ, リョウブなど

d. 湿地向植物

乾燥に耐える樹木は、同時に湿地にもよく耐える傾向がある。極端な乾燥と浸水が繰り返される河川敷や溪床地内に生育しているもの

- ・外来の草本類……チモシー(T i m), オーチャードグラス(O G), ペレニアルライグラス(P R G), レッドトップ(R T), ホワイトクローバー(W C), リードカナリーグラス(R O G)など
- ・木本類……クサヨシ, ハンノキ, ヤシャブシ, ヤナギ類, ニセアカシア, オニグルミ, トネリコ, ドロノキ, ラクウショウ, スギ, ウツギ類など

e. 硬土地・岩石地向植物

山中式硬度計で26mm以上の硬土地に生育しているもの

- ・草木類……ススキ, チガヤ, イタチガヤ, アレチノギク, ヨモギ類, ツタ, ヤクシソウ, ホラシノブ, ミツデウラボシ, ハチジョウカグマなど
- ・木本類……マルバハギ, マルバウツギ, クロマツなど

硬土地に耐えるもの

- ・イタドリ類, アジサイ類, アカマツ, コマツナギ, メドハギ, イタチハギ, エニシダ, ネムノキ, アカメガシワ, クサギ, ヌルデ, ウツギ類, ニワトコなど

f. 酸性地向植物

pH 4.0近くでも耐えて生育するもの

- ・在来種……イタドリ類, ススキ, メドハギ, コマツナギ, ツツジ類など

5章 緑化工法

・外来種……クリーピングレッドフェスク(C R F), レッドトップ(R T), ウィーピングラブグラス(W L G), ケンタッキー31フェスク(K 3 1 F), バーズフートトレフォイル(B F T)など

参考として次に、適性植物を気象、土質、乾湿などの別に分類したものを、表-5.1～表-5.7に示す。

表-5.1 緑化用木本類の気温区分²⁴⁾

区 分	外 来 種	在 来 種
寒冷地 向	マメ科 (ニセアカシア, イタチハギ, エニシダ)	カバノキ科(ヤマハンノキ, ミ ヤマハンノキ, ヤシャブシ, ヒ メヤシャブシ, シラカンバ, ダ ケカンバ) マメ科(ハギ類) ヤナギ科(ミネヤナギなど)
暖温地 向	マメ科 (ニセアカシア, イタチハギ, エニシダ)	マツ科(アカマツ, クロマツ) カバノキ科(ヤマハンノキ, ハ ンノキ, オオバヤシャブシ) マメ科(ハギ類, ネムノキ) ヤナギ科(イヌコリヤナギ) ブナ科(クヌギ) リョウブ科(リョウブ)

5章 緑化工法

表 - 5.2 寒冷地向き緑化用草本類²⁴⁾

草本類の種類		寡雨(雪)地域		多雨(雪)地域		特殊な立地条件					秋播き
		砂質土	粘性土	砂質土	粘性土	やせ地	乾燥地	湿潤地	陽地	酸性地	
外 来 種	ケンタッキー31フェスク	○	○	○	○	○				○	○
	クリーピングレッドフェスク	○	○	○	○	○				○	○
	チモシー	○	○	○	○	○		○		○	○
	レッドトップ	○	○	○	○	○		○		○	○
	ケンタッキーブルーグラス	○	○	○	○	○		○		○	○
	オーチャードグラス	○	○	○	○			○			
	ベレニアルライグラス							○			
	ウィーピングラブグラス	○	○	○	○		○		○		
在 来 種	ホワイトクローバー	○	○	○	○						
	ヨモギ	○	○	○	○	○	○		○		
	オトコヨモギ	○	○			○	○		○		
	メドハギ	○	○	○	○	○		○		○	
	イタドリ			○	○	○		○		○	
ス ス	ス					○		○		○	

表 - 5.3 暖温地向き緑化用草本類²⁴⁾

草本類の種類		寡雨地域		多雨地域		特殊な立地条件					秋播き
		砂質土	粘性土	砂質土	粘性土	やせ地	乾燥地	湿潤地	陽地	酸性地	
外 来 種	ケンタッキー31フェスク	○	○	○	○	○	○		○		○
	ウィーピングラブグラス	○	○	○	○	○	○		○		
	クリーピングレッドフェスク	○	○	○	○						
	ベレニアルライグラス	○	○	○	○		○	○	○		
	バーミューダグラス	○	○	○	○						
	レッドトップ	○	○	○	○		○	○		○	
	ホワイトクローバー	○	○	○	○		○	○			
在 来 種	ヨモギ	○	○	○	○	○	○		○		
	オトコヨモギ	○	○	○	○	○	○		○		
	メドハギ	○	○	○	○	○					
	イタドリ	○	○	○	○	○		○		○	
	ス	○	○			○		○		○	

表-5.4 緑化用牧草の特性と播種期

種 名	生長周期型	生育型	生育年数	草丈 (cm)	葉 色	播種期 (月)	耐性				耐酸性
							耐やせ地性	耐乾性	耐湿性	耐暑性	
ケンタッキー31フェスク	冬	A	多	30~50	常緑 冬褐變	(3~5 (9~10)	×	◎	○	○	○
ウイーピングラブグラス	夏	A	多	40~60	常緑	4~6	◎	○	○	○	○
ケンタッキープルーグラス	冬	B	多	30~40	常	(3~5 (9~10)	○	×	○	○	○
チモシ	冬	A	多	80~100	"	(3~4 (9~11)	○	×	○	×	×
クリーピングレッドフェスク	冬	B	多	20~50	"	(3~4 (9~10)	○	△	○	○	○
レッドトート	冬	C	多	30~50	"	(3~4 (9~11)	○	△	○	○	○
オーチャードグラス	冬	A	多	40~60	"	(4~5 (9~10)	○	◎	○	○	○
ホワイトクローバー	冬	C	多	20~30	"	(3~5 (9~10)	○	△	○	△	×
ペレニアルライグララス	冬	A	多	50	"	(3~4 (9~10)	×	△	○	△	○
ペーミューダグララス	夏	C	多	20	冬褐變	(4~5 (9~10)	○	○	○	×	○

◎：最適，○：適，△：普通，△：不適，×：不適
 生長周期型 夏：夏草型 多：多年生
 冬：冬草型 生育年数 多：多年生
 A：叢生型 B：地下茎型 C：ほふく茎型

表一 5.5 緑化用の在来種(草本類)の特性¹⁹⁾

植物名	性質	発芽率(%)	粒数(万kg)	草丈(m)	結実期	播種期	備考
ヤマヨモギ ヨモギ オトコヨモギ ミヤマオトコヨモギ	①地上部の成育がよく、地下茎が発達し、根系繁殖する ②湿地に耐える(寒さにも強い) ③播種が容易で、株分けもできる ④播種が比較的容易である ⑤初期生長遅い。発芽も遅い ⑥冬期地上部が枯れるので、裸地状になりやすい ⑦枝葉は多く、肥料分になりやすい	50~80 50~80 40~70 30~80	150~200 350~400 200~250 150~200	1.0~2.0 0.5~1.0 0.5~1.0 1.0~1.5	初秋 夏~初秋 初秋 初秋	3~5月 3~5月 3~6月 3~6月	種子の精選が困難で一般にはKg当たりの粒数は20~30%少ないものを使用している
イタドリ オオイタドリ	①やせ地に耐える ②乾燥地に生える。地上部の生長がよい ③発芽時期が遅く、遅い。むらがある ④根系が組根である ⑤冬枯れ、裸地状になることが多い	20~60 -	50~60 40~50	0.5~1.5 1.0~2.0	初秋 初秋	3~6月 3~6月	
メドハギ	①硬質土壤でも生育する ②やせ地、乾燥地、砂礫地でも生育する ③播種ができる。根系の発達がよい ④肥料草としての価値が高い ⑤種子採取が容易である	60~80	60~70	0.5~1.0	初秋	3~6月	硬粒種子には発芽促進処理(温湯)をすれば、発芽がそろう

5章 種 化 行 現

ススキ	①地上部の抜がりが大きく被覆量が大きい ②上長生長が早く、根系の発達がよい ③播種が容易である ④乾燥地、砂礫地など適地を選ばない ⑤発芽が遅く、むらがある	20~60	100~150 (85~860)	1.0~2.0	初秋	3~6月 (秋播)	
	①根系の発達がよく群生する ②高冷地にもよく生育する ③石礫地（たい積地）にも生育する ④種子の発芽率が一定せず、むらがある ⑤初期の生長が遅い	40~80	350	0.5~1.0	初秋	10~11月 (秋播)	分布が標高 2~4月 1,000~2,000m に多い
イワノガリヤス ヒメノガリヤス	①高寒地に群生する ②砂礫地、乾燥地に生育する ③酸性土に強く、耐える ④適地が限定される ⑤使用されたことなく結果が不明である ⑥株分けが可能である	20~40	400	0.5~1.0	初秋	10~11月 (秋播)	
	①高寒地に群生する ②砂礫地、乾燥地に生育する ③酸性土に強く、耐える ④適地が限定される ⑤使用されたことなく結果が不明である ⑥株分けが可能である	-	-	0.2~0.8	初秋	-	亜高山から高 山地の砂質地 に多く生育す る

表-5.6 緑化用の在来種(木本類)の特性¹⁹⁾

植物物名	性質	発芽率(活着率)	粒数(万粒/g)	樹高(m)	形態	結実期	播種期	植付・移植期(挿木)
アカマツ クロマツ	①やせ地でも生育する ②乾燥地に比較的耐える ③初期生育は広葉樹類より劣る ④沿山緑化植栽木としての実績がある ⑤耐塩・風・水性	30~60 20~50	10~12 8~10	10~15 10~15	常高木 常高木	9~10月 9~10月	3~5月 3~5月	2~6月 2~6月
オオバヤシャブシ(A) ヒメヤシャブシ(B) ヤシシャブシ(C)	①やせ地でも良く生育する ②肥料木として良好である ③草木類を被覆せず、林床草が生育する ④土壤の緊縛力がある ⑤石礫地、乾燥地でも生育する ⑥初期生長が遅い ⑦草本類との混播が比較的むずかしい ⑧道路のり面などでは高木となると走行の視野の妨げとなる(ただしBとEは除く)	20~60 20~50 30~60	70~80 100~110 75~80	8~13 3~5 4~7	常高木 常垂高木 常垂高木	秋 秋 初秋~	3~6月 3~6月 3~6月	3~5月 3~5月 3~6月
ヤマハシノキ(D) (ケヤマハシノキ)	⑨風倒すると崩壊の原因作りやすい(A, Dなど)	40~60	130	10~15	常高木	晚夏~初秋	3~6月	3~5月
ミヤマハシノキ(E)	⑩種子吹付工などに適さない	30~50	70~75	10~15	常高木	晚夏~初秋	3~6月	3~5月
オオバヤナギ シバヤナギ (イヌコリヤナギ)	①挿木が容易である ②材料が比較的容易にとれる ③活着率がが高い ④挿木可能なで風倒、視野の妨げとなる ⑤低木ない(除くオバヤナギ) ⑥乾燥地でも生育する ⑦播種ができず、作業が不便 ⑧採穂の管理が必要である	(50~70) (40~70) (60~90) (40~60) (60~80) (-)	- - - - - -	1.0~1.5 1~2 1.5 1~2 1~3 6~10	常高木 常低木 常低木 常低木 低木 常高木	(採穂適期) (3~6月) (3~6月) (3~5月) (3~6月) (3~6月)	- - - - - -	(3~6月) (3~6月) (3~6月) (3~6月) (3~6月) (3~6月)

5章 緑・化 工 法

エニシタマリ	ダギキヨウ	①低木で叢生し、被覆効果が高い ②発芽が安定している。採種が容易 である ③根系の発達がよく、土壤の緊縛力 がある ④初期被圧されても耐陰性が強い ⑤草本類の混播が可能である ⑥風倒などの危険が少なく、崩れの 原因を作らない ⑦挿木ができる。活着もよい ⑧治山緑化での使用実績があり、結 果もよい ⑨機械施工く種子吹付工法などには 適さない ⑩道路のり面などは、生育しても走 行現野の妨げとなるらしい	40~70	9~10	1~3	常低	木	夏～晚夏	3~6月	3~6月
		(50~90) (60~90)	3~4	1~3	常低	木	晩夏～初秋	3~6月	2~6月	
		(50~80) (60~80)	15~16	1~2	常低	木	秋	3~5月	3~5月	
		(40~80) (50~80)	14~15	1~2	常低	木	秋	3~5月	3~5月	
		(40~80) (60~90)	14~16	1~2	常低	木	秋	3~5月	3~5月	
		(50~80) (60~70)	14~16	1~2	常低	木	秋	3~5月	—	
		—	—	3~8	常低	木	初秋	—	—	
ウタフアガコバシヤ	ギギツヅギネマノガモシヤ	①低木で、崩壊地、たい積地によく 生育する ②挿木による繁殖ができる ③叢生で根系の発達がよい ④分布範囲が広く、適応性がある ⑤乾燥地にも生育する ⑥種子が多量に生殖される ⑦発芽条件が狭い ⑧初期の生育が遅い	(60~80) (60~80)	1500~1600 400~450	1~2 1~2	常低	木	初秋	3~5月	(3~6月) (3~5月)
		(10~15) (4~6)	2400~2500 5~6	1~2 1~3	常低	木	秋	3~5月	—	
		(4~6) (1~3)	1,000~1500 5~7	2~3 3	常低	木	秋	3~6月	(3~6月) (3~5月)	
		(2~3) (1~3)	5~8 800~850	2~3 1	常低	木	10~11月	3~5月	—	
		(3~5) (2~5)	880	1	常低	木	10~11月	3~5月	(3~5月)	
		20~50					晚秋	3~5月	(3~5月)	
								—	(3~5月)	
シダウナ	カカイナ	①乾燥地でも生育する ②種子繁殖ができる ③植栽が可能である ④崩壊地などに初期に侵入して生育 している ⑤発芽率、使用実績の調査が少ない	—	—	10~15	常高	木	初秋	3~4月	
			—	—	10~15	常高	木	秋	—	
			—	—	10~15	常高	木	秋	—	
			—	—	8~15	常高	木	秋	3~4月	

表-5.7 緑化用の外来種(草本類)の特性¹⁹⁾

植物名	pH範囲	草丈[m]	粒数/#	適応	使用する条件
ペンドグラス	6.5~7.5	30~40	13,000	湿潤な各土壤に適す。冷涼、湿性に耐え耐陰性に強い。	斜面の緑化工にはあまり使用されない。平地の公園緑地などに使用される。
レッドトゥヅ	5.5~6.0	40~60	11,000	酸性土に強い。粘質土。水分が豊富なら土壤を選ばない。冷涼、湿润を好み。水に強く、また相当の乾燥にも耐える。湿地によい。	湧水のしみ出るような場所によい。草丈の高いものと混播すると被圧される。植生盤工には不適。
ペレニアルライグラス	5.5~7.0	50~70	500	肥沃土が最適。適応範囲が広い。 乾燥に弱い。	単播はさけ、他のものと混播すべきである。
ケンタッキー31フェスク	5.4~7.6	80~120	500	あまり土壤を選ばない。水分と窒素分さえあれば、冬でも生育する。寒酷に対して適応力大。	日陰に強く冬も綠であるから、他の冬枯れる草(ヴァイピンググラスなど)と混播すべきである。
ヴァイピングラブグラス	5.5~7.0	70~90	3,300	土壤を選ばない。砂地にも育つ。日陰には生きわめて弱い。暑熱乾燥にきわめて強い。寒さに弱く冬枯れる。北海道では越冬しない。	のり面工にはもともと適した草である。冬期膜が結れて燃えやさしくなる。日陰地には不適当。
バーミューダグラス	5.1~7.0	10~15	4,800	酸性土にやや強い。水はけのよい土。寒さに弱い。2°Cで枯死。日平均温度24°C最適。乾燥に強い。	日平均温度19°C以上でないと発芽しない。日陰に弱いから混播は不可。のり面ではあまり匍匐しない。
バビアグラス	5.1~6.5	30~70	300	土壤適応性大きい。やせ地にもよく育つ。 暖地向き、暑さや乾燥にも強い。	暖かい地方でバー・ミューダグラスと同じように使用する。

クリーピングレッジド フェスク	5.4~7.6	30~50	1,300	砂質土によく育つ。日陰地にも育つ。 乾燥に耐える。暑さにやや弱い。	草丈が短いから、植生盤工には不適である。
リードキヤナリーグラス	5.0~6.5	80~100	1,200	酸性土に強い。泥炭地、粘土、砂地にもよく育つ。暑さ寒さに抵抗力大。水に強く、また乾燥にも強い。	低湿地、湧水地にもっともよいとされている。
チモシ	5.4~7.6	80~100	2,300	肥沃地を好みがやせ地にもかなり強い。 冷涼湿润地。寒さに強い。	寒い地方での使用が好まれる。 暑さにはやや弱い。日陰地は不適。
ラジノクローバー	5.5~7.0	30~40	1,500	土壤に対する適応性大。 気候的的要求は少ない。乾燥にはやや弱い。	使用法はホワイトクローバーに準ずる。
ホワイトクローバー	5.5~7.0	30~40	1,500	水分さえあれば土壤を選ばない。ラジノクローバーに比べて寒さに弱い。乾燥にもやや弱い。	クローバー類の中では最もよい。 混播用で単播すべきでない。
オーチャードグラス	6.0~7.0	80~100	1,400	土壤の適応性は大きい。 耐陰性が強い。寒さにも強く育つ。	寒冷地では混播するとよい。 乾燥にやや弱い。

5・2 緑化基礎工

緑化基礎工の目的は次の3点にある。

- ① 生育基盤の安定を図る。
- ② 生育基盤の改善を図る。
- ③ 気象条件を整える。

施工上の留意点は、土木工事計画との関連を密にする。土木工事計画と緑化基礎工、植生工との連絡が十分でなければ、植生の復元は困難である。

5・2・1 たい積場の整形

のり面の勾配は、土質、湧水の状況、地下水位の位置、気象条件、復元する植生の形態などを考慮して総合的に判断して決めなければならない。留意点としては、土木工学的な立場から、堅固なもの、つまり支持力の強い地盤、安定な斜面、締固まった地面を築造するのが本筋であるが、緑化に適した基盤とは、固結度が低く、しかも緩勾配であることが条件である。

暖温地方における普通土に対する最急標準盛土勾配は、一般に、1:1.5～1.8(34°～29°)が用いられている。

また、切土面の勾配も植物を導入することを前提とする場合には、可能な限り緩やかにすることが必要である。切土のり面の仕上げは、平滑にするより多少凹凸があることが緑化には有利である。

一般に防災面からも健全な植生が成立し得る勾配は25°以下であると考えられるので、これを高木性樹種の植栽限度角度とすることが望ましい。

参考までに、斜面の設計、施工に関する各種の基準を表-5.8、表-5.9に示す。

また、のり面の肩の部分にまるみをつける、いわゆるラウンディングを施工することが好ましい。それにより、のり肩部の侵食防止、植物の生育条件の改善に役立つ。

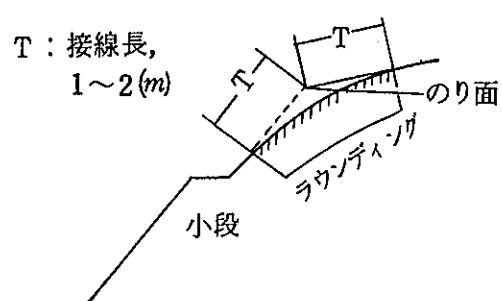


図-5.1 ラウンディング⁷⁾

5章 緑化工法

表-5.8 盛土の標準斜面勾配例⁶⁾

基 準 名	適 用	盛 土 の 標 準 斜 面 勾 配	
捨石集積場建設基準 (通商産業省鉱山保安局) 3 4.8.2.8 制定	集 積 物	集 積 高 さ	斜 面 の 平 均 勾 配
	ボ タ 山	3.0m以上	25°以下
捨石, 鉱さいたい積場 建設基準及び解説 (通商産業省・立地公害局) 5 7.1 2.6 制定	かん止堤の種類	上流傾斜面勾配	下流傾斜面勾配
	石塊かん止堤	1.3割(38°)	安定解析により定める。
	砂かん止堤	1.5割(34°)	
日本道路公団設計要領 第1集 (日本道路公団) 4 5.1 制定	土かん止堤	1.8割(29°)	
	盛 土 材 料	盛 土 高 (m)	勾 配
	粒度分布のよい 砂, 砂利及び砂 利まじり砂	0~6	1:1.5(34°)
		6~15	1:1.8(29°)
	粒度分布の悪い 砂	0~10	1:1.8(29°)
		10~20	1:1.5(34°)
	岩塊・ズリ	0~10	1:1.8(29°)
		10~20	1:1.5(34°)
	砂 質 土 硬い粘性土 硬い粘土(洪積 層の粘性土, 粘 土など)	0~6	1:1.5(34°)
		6~10	1:1.8(29°)
	軟らかい粘性土 (関東ロームな ど)	0~6	1:1.5(34°)~1.8(29°)

5章 緑化工法

表 - 5.9 切取り標準斜面勾配例⁶⁾

基 準 名	土 質 及 び 地 質			切取の標準斜面勾配
日本道路公団設計要領第1集 (日本道路公団) 4.5.1 制定	硬 岩			1 : 0.3~1 : 0.8 (73°~51°)
	軟 岩			1 : 0.5~1 : 1.2 (63°~40°)
	砂			1 : 1.5~ (34°~)
	砂質土	密実なもの	5m 以下	1 : 0.8~1 : 1.0 (51°~45°)
			5~10m	1 : 1.0~1 : 1.2 (45°~40°)
	砂利又は 岩石まじり砂質土	密実でないもの	5 m 以下	1 : 1.0~1 : 1.2 (45°~40°)
			5~10m	1 : 1.2~1 : 1.5 (40°~34°)
	粘土及び粘性土	密実なもの又は粒度分布のよいもの	10m以下	1 : 0.8~1 : 1.0 (51°~45°)
			10~15m	1 : 1.0~1 : 1.2 (45°~40°)
	岩塊又は玉石まじりの粘性土	密実でないもの又は粒度分布の悪いもの	10m以下	1 : 1.0~1 : 1.2 (45°~40°)
			10~15m	1 : 1.2~1 : 1.5 (40°~34°)
建設省河川砂防技術基準 (建設省・河川局) 3.3.1.1.2.0 制定	粘 土 及 び 粘 性 土			0~10m 1 : 0.8~1 : 1.2 (51°~40°)
	岩塊又は玉石まじりの粘性土			5m以下 1 : 1.0~1 : 1.2 (45°~40°)
	5~10m 1 : 1.2~1 : 1.5 (40°~34°)			
標 準 値			1.5 (34°)	
表 土 が 堅 い 場 合			1.0 (45°)	
た い 積 面			1.5 (34°)	

5・2・2 侵食防止（斜面補強工）

傾斜地で植生が維持される条件は、下記のとおりである。

①傾斜面は安定していなければならない。そのためには必要に応じて崩壊防止工を施す。

②斜面に播種、植栽された植物が十分に生長し、その効果を発揮するようになるまでの間、斜面の表層土壤が侵食によって移動しないよう固定しておく必要がある。

③植物が生長するには、必要な根が発達しうるだけの土壤が必要である。根が侵入できる土の硬さには限界があって、その限界以下の硬さの土層が地表面にある厚さだけなければならない。しかし、硬質のり面でも、細かい亀裂があって水分の供給が十分であれば、土壤量が少くとも、多様な植生が形成される。

一方、土の性質と土の流出量には、強い相関が認められる。

①多孔質の土は侵食を受けることが少ない。

②下層に不透水層をともなっており、その上に埴質の土がある場合には、侵食を受けることが多い。

下層の組織が粗粒質の場合、一度、水の流れが表層を破って下層に入ると、はげしい侵食を受ける。

したがって、最も問題なのは急傾斜の軟岩のり面であって、長年月を経ても安定せず、多くの土砂を流出する傾向がある。また、その下部のたい積土も上部からの土砂供給が盛んな場合には不安定で、植生の発達が困難である。

参考までに、土壤侵食の調査例を表-5.10～表-5.15に示す。

表-5.10 勾配と流出土の関係⁸⁾

(6坪当り)

勾配	雨量 (mm)	流れた土の量(kg)	流れた土の割合
9度40分	367	1,492	1.00
18度30分	367	4,009	2.67
28度10分	367	50,109	33.40

5章 緑化工法

表-5.11 侵食をうける流速限界¹⁷⁾

土 質	流 速 (m/sec)	土 質	流 速 (m/sec)
砂 質 土	0.45	砂 混 り 粘 土	1.50
砂 質 ローム	0.60	軟 岩	2.00
ローム	0.70	中 岩	2.50
粘 質 ローム	0.90	硬 岩	4.00
粘 土	1.20		

表-5.12 月別の土壤流出量(0.1ha当たりkg)⁹⁾

月 別	裸 地 区	草 生 区
6 月	147	54
7 月	117	31
8 月	74	20
9 月	113	15
10 月	20	5
11 月	11	5
計	482	130
割 合 (%)	100	26.97

5章 緑化工法

表-5.1.3 各地土地利用別の土壤侵食率¹⁰⁾

土地利用項目	土壤侵食率 (t/km ² ・年)	森林に対する相対比
森 林	8.5	1
牧 草 地	8.5	1.0
露 天 挖 鉱 山 跡	850	100
耕 地	1,700	200
伐 採 中 の 森 林	4,250	500
採掘中の露天掘鉱山	17,000	2,000
建設工事現場	17,000	2,000

表-5.1.4 落葉層の有無による表面侵食の比較¹¹⁾

地被別	侵食土量の比較 (裸地: 100)
裸 地	100
ラクウショウ林 {	落葉層 無 95
	〃 有 25
カシ林 {	落葉層 無 80
	〃 有 18

表-5.1.5 地被状態別浸透能の比較(岩手県)¹¹⁾

地被状態	針葉樹林地※	落葉広葉樹林地※※	伐採跡地	草生地	山崩跡地	歩道
最終浸透能 平均	246	272	160	191	99	11
(mm/hr) 範囲	104~387	87~395	15~289	22~193	24~281	2~29

※ 針葉樹林: アカマツ, スギ, ヒノキ, カラマツの人工林

22~45年生, 胸高直径6~35cm, 樹高7~22m

※※ 落葉広葉樹林: ブナ, ミズナラ, コナラ, サクラ類などの自然林

60~190年生, 胸高直径16~80cm, 樹高12~22m

5章 緑化工法

植物の定着、土壤侵食防止のためには、たい積場の実情に応じ、工法を独自に工夫すべきであるが、ここでは、斜面補強工について、数例を示す。

まず、のり面勾配と緑化基礎工基準を示すと、図-5.2のようになる。

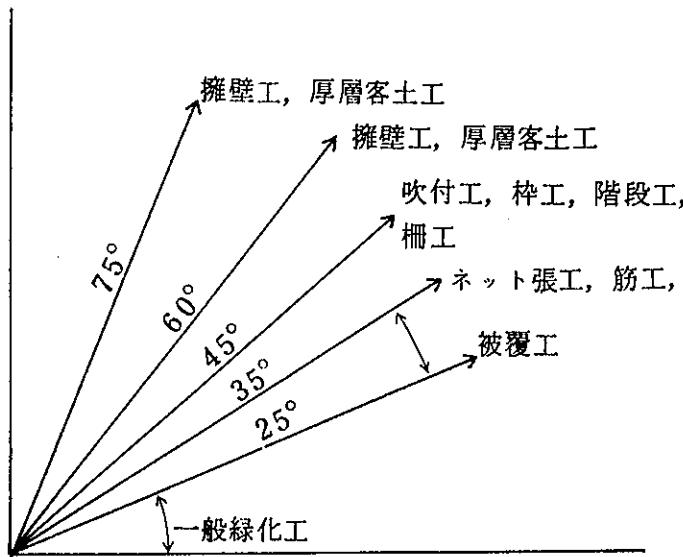


図-5.2 のり面勾配と緑化基礎工基準（倉田による）⁵⁾

なお、これらの工法に使用される素材については、例えば、プラスチック製枠、埋設金網、防風ネットなどの耐久年数など、性能を十分検討することが必要である。

a. ネット張工⁵⁾

(i) 埋設ネット法

石礫の多いのり面や亀裂の多い岩質ののり面に適用し、落石や地表面の土砂移動を防止する。

(ii) 被覆ネット法

植生工を施したのち、ネット類で被覆し、植物体の崩落を防止する。主に寒冷地での凍上、積雪による植物体の崩落による損傷を防ぐために用いられる。素材としては、わらむしろ、合成繊維網、金網がある。

ネット類の降雨侵食防止効果について、東京農業大学緑化工学研究室で行われた実験結果⁵⁾を示す。実験は、長さ100cm、幅30cm、深さ15cmの箱

5章 緑化工法

に関東ロームを硬度 20 mm (山中式硬度計) に詰め、各種ネットを張った後 (目串 15 本／箱), 人工降雨 (115~130 mm／hr) にあて、流出土 (全乾) を比較したものである。

表 - 5.16 市販の各種ネットの降雨侵食防止効果 (山寺)

供試ネットの性質				流出土			
名称	被覆率	網目の形 (タテ×ヨコ) (mm)	網糸の太さ (mm)	傾斜 45 度		傾斜 60 度	
				流出土 (g/m ²)	同比	流出土 (g/m ²)	同比
わらむしろ	95.0	0.5×1,000	~6.0	32	0.9	35	0.9
不織布ネット (やしの実の繊維)	79.8	不定形	0.05~0.5	187	5.3	230	5.3
不織布ネット (スフ+バイレン)	30.0	不定形	0.02~0.03 0.2~0.4	835	23.8	2,651	66.9
ビニールネット	40.4	10×3	20.0	952	27.2	3,768	95.1
米国製 エロジオネット	17.7	20×(13/5)	10.0	1,889	54.0	2,369	59.8
日本製 エロジオネット	27.3	10×10	10.0	2,222	63.5	3,811	96.2
対照 (裸地)	0	0	0	3,497	100	3,962	100

わらむしろ (うすべり) が、最も安定して流出土が少なく、優れていることがわかる。

被覆率……被覆率が高くなるほど流出土は減少し、ほぼ 80% 以上になると、傾斜が急 (60°) になっても、流出はほとんど防止できる。

網目の形……侵食防止には横糸が縦糸より効果的に働くので、網目は横糸が多く、縦糸が少ない極端な長方形が好ましい。(例えば、縦 0.1 cm, 横 10 cm 位の網目) なお、このようなものは、被覆率が 100% になっても、ほとんど発芽障害はない。

網糸の太さ……網糸が太い (2 mm 以上) 場合には、横糸の下に階段状の未侵食部が残り、無被覆部から流出した種肥土は、一旦、横糸上にたい積する。しかし、網糸が細い場合 (1 mm 以下) には未侵食部は残らず、種肥土は流出する。なじみ……被覆率が高くとも、ネットが土面になじみが悪い場合には、種肥土

5章 緑化工法

はネットの裏側で流出する。

次に、金属鉱業事業団が緑化試験を行った、たい積場の概要について表-5.17に示す。

表-5.17 緑化試験実施たい積場概要(金属鉱業事業団)²⁷⁾

鉱山名 (県名)	たい積 場名	たい積物 の種類	標高 (m) 地 形	平均気温(°C) 暖かさの指 数 寒さの指 数	たい積物		覆土材	
					pH (H ₂ O)	透水係数 (cm/sec)	pH (H ₂ O)	透水係数 (cm/sec)
松尾 (岩手)	Bたい積場	露天掘 剝土砕	990~ 1,013 平 垦	5.7 5.35 -4.55	2.2	1.78×10^{-2}	45	1.51×10^{-4}
大正西又 (青森)	露天掘 剝土砕 たい積場	露天掘 剝土砕	100 平 垦	9.9 7.90 -1.98	2.7	1.05×10^{-5}	5.1	5.52×10^{-3}
小杉沢 (秋田)	大切坑前 砕たい積 場	砕たい積 場を整形 覆土	80 平 垦	10.7 8.61 -1.80	2.1	1.38×10^{-5}	5.6	1.75×10^{-3}
与内畠 (福島)	露天掘跡	露天掘跡	350 平 垦	11.4 9.54 -1.85	2.6	1.75×10^{-5}	5.0 ~ 5.6	3.64×10^{-4} ~ 2.25×10^{-2}
妙法 (和歌山)	芦谷たい 積 場	浮遊選鉱 の尾鉱ス ライム	114 平 垦	16.8 13.71 -	3.7	9.31×10^{-5}	4.7	2.91×10^{-5}

上記のたい積場における被覆材施用試験結果を表-5.18及び表-5.19に示す。

5章 緑化工法

表 - 5.1.8 たい積場緑化における被覆材施用試験(妙法鉱山)²⁷⁾

播種時期: 9月中旬

被覆区分	方法の説明	播種9カ月後の生育状況					
		K31F		WLG		3種(K31F, WLG, CRF)の混播	
		被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
ネット (黒色寒冷紗)	スライムの表層の 厚さ20cmを耕耘し, 牧草を播種した後, 農業用ネットで被覆する。 耕耘したスライム 耕耘しない スライム	75	8	70	20	90	17
わらむしろ	スライムの表層の 厚さ20cmを耕耘し, 牧草を播種した後, わらむしろで被覆する。 耕耘したスライム 耕耘しない スライム	75	11	5	25	80	12
被覆を行わ なかった	スライムの表層の 厚さ20cmを耕耘し, 牧草を播種する。 耕耘したスライム 耕耘しない スライム	50	10	30	25	60	18

被覆による植生の特徴は、

- ① 播種した牧草の被度が向上する。これは雨水による種子の流亡及び種子の飛散が防止され、発芽に必要な水分が保持されたためである。
- ② 被覆材の使用は、条件によっては逆効果にもなる。即ち、WLGの単播後にわらむしろで被覆を行った箇所は、成績が極端に悪かった。わらむしろ被覆は、一般に推奨されている工法であるが、当試験地は雨量の多い暖温地で、平坦な箇所のため、過湿になったためと考えられる。したがって、被覆は過湿にならないように施工する必要がある。

5章 緑化工法

表-5.19 たい積場緑化における粗朶被覆試験(小杉沢鉱山)²⁷⁾

播種時期: 7月中旬

被覆区分	方法の説明	播種3.5カ月後の生育状況							
		K 3 1 F		W L G		2種の混播		ヨモギの単播	
		被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
粗朶被覆を行った場合	スライムの上に厚さ20cmの覆土を施工し、牧草を播種した後に粗朶を並べて被覆する 	85	53	100	60	100	68	35	70
粗朶被覆を行わなかった場合	スライムの上に厚さ20cmの覆土を施工し、牧草を播種する 	40	60	100	60	100	60	0	0

粗朶被覆の効果として、比較的乾燥に弱いK 3 1 Fの被度が向上した。さらに在来種のヨモギの発芽、生長をみた。

b. のり枠工

硬質地、軟岩地、岩石地で使用される。現場打ちコンクリート枠工、コンクリートブロック枠工、プラスチック枠工、木枠工、丸太枠工などがある。

のり枠内の客土層はかなり厚くできるが、1割5分以下の傾斜でないと、安定せず流出する。これより急傾斜の場合は、ネット張工を併用するとか、植生袋に種子、肥料、土を詰め積上げる方法とか、玉石を詰めた上から客土吹付を行う方法などがある。

なお、格子枠ブロック工法の一種に、集水式に設計されたものがある。¹⁸⁾ この工法は100mm/hrの豪雨でも十分排水できるといわれている。また、多くの留杭を打込む関係上、のり面表層部を緊迫し、表層崩壊防止に効果的な工法である。

5章 緑化工法

c. 棚工

不安定土砂の固定と生育基盤の造成を目的として用いられる。本来はヤナギ類の枝で編柵を作り、ヤナギ類の萌芽によって土砂の安定を図ろうとするものである。最近は材料難から、割竹、粗朶、金属、合成繊維を用いる例が多い。



ヤナギ類による編柵工の緑化例(秋田県尾去沢鉱山)

d. 土留め工

のり尻部に土留めを設けて保護することは、のり面土砂の移動を防止するので非常に有効である。蛇かご土留め工、丸太積土留め工、粗朶積土留め工、コンクリート板土留め工、枠土留め工などがある。

5・2・3 土壤改良工

一般に、たい積場のたい積物は、植物の生育に必要な養分に欠け、適度の水分、酸素を保持する上で不適である。したがって、早急に確実に緑化を図るには、覆土（客土）することが望ましいが、たい積場の広さに見合った覆土材の入手が困難な場合が多いのが実態である。このような場合には、まず、覆土量が少なくとも植生の遷移が進む方策、さらに覆土は行わず、土壤改良剤、施肥などで緑化できる土壤改良方法を検討してみるようにする。

a. 覆 土

覆土の厚さを決めるに当たっては、たい積物の性質、傾斜地での土壤流出などを考慮する必要がある。復元しようとする植生を形態別にみると、一般的に根圏は草本では約15～20cm、低木では約30cm、中木では約50cm、高木では約60～100cmであり、これに見合った厚さの土壤があれば十分とされている。

たい積場の場合は、鉱害防止、防災的見地から、のり面を植生で被覆することで地表面の侵食はほぼ完全に防止できる。即ち、裸地面を生じることがなく、植生で被覆し続けることが重要である。より高度の植生構造、つまり樹木類を大きく生長させることについてはのり面の安定性を損うのではないかとの疑問がある。地上部分の大きい植物体が生活してゆくにはそれを維持していくための地下部（根系）が十分発達していなければならず、その根系が発達しうるやわらかい表層土がのり面上に確保されていなければならない。ある厚さの表層土がのり面上に安定しているかどうかは、土質工学的な安定条件を考えてもある程度判断できることであり、急勾配になるほど安定限界深度は浅くなり、生長しうる植物体の大きさは小さくなる。

図-5.3は植生の量と勾配の関係を示したものであり、基本的にのり面勾配によってそこに生長しうる植生の量は限界がある。大きい植物体をのり面上に存在させるには生育基盤として必要な表層土が安定する緩勾配でなくてはならず、安定しうる緑化基礎工（格子枠工など）が必要である。図式的には、のり面勾配から安定限界表層土深が決まり、それに応じた大きさの植物が生育するはずであり、そこにある表層土深が安定条件を満しており、かつ、植物の根

5章 緑化工法

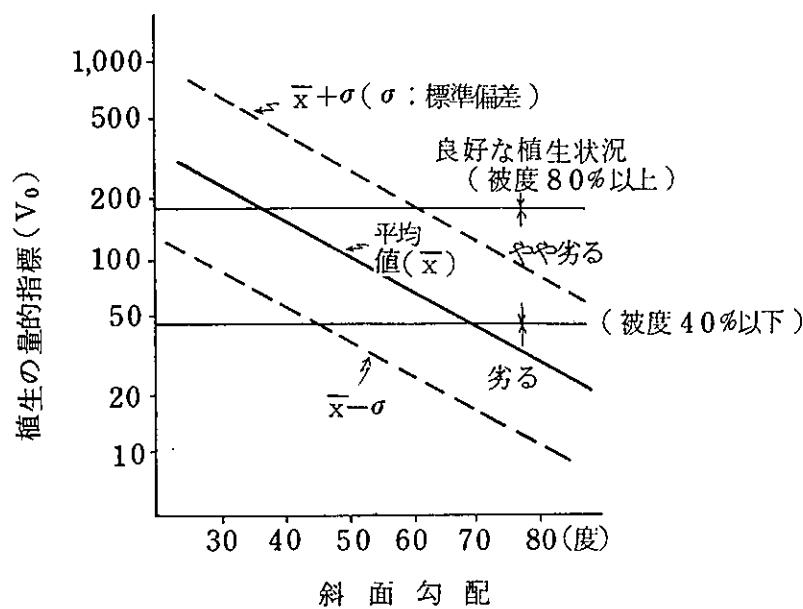


図-5.3 斜面勾配と植生の量¹³⁾

系のせん断抵抗補強効果を考えるならば、のり面上の樹木は安定を損うことにはならない。しかし、問題は表層土深度や根系の強度補強効果のばらつきである。植生構造が複雑なほど平均的な補強効果は大になるが、一方、そのばらつきが大きくなることは容易に考えられる。（図-5.4参照）

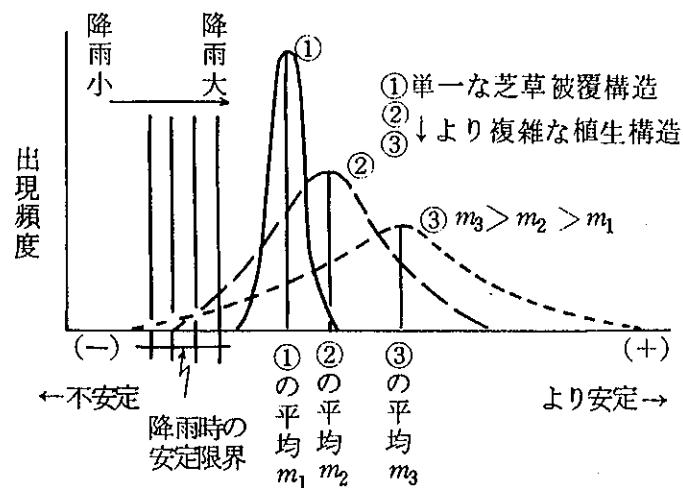


図-5.4 植生構造と斜面の安定性¹³⁾

5章 緑化工法

災害対策からは、平均的強度の大小よりそのばらつき、あるいは安定限度値を下廻る状態が多く発生する状況が問題となる。¹³⁾

つまり、安定したのり面とするために表層土をできるだけ薄くし、均質な草丈の低い草本（牧草、芝など）で半永久的に被覆を保持することが望ましい。

覆土材としての土壤の性質は、基盤の状況、特にのり面の勾配、補強工法などでも左右されるが、一般には、砂壤土～埴壤土、pH 5～6.5、有機物を含有（在来の植物体、地下茎、根などを含んだままの表層土壤）していることが望ましい。なお、鉱山に隣接した場所から採土する場合は、含有硫化物などによる強酸性土が混入する恐れがあるので、事前に覆土材の適否を調べるようにする。

覆土の厚さは、緑化基礎工との関連で決められるが、後述する金属鉱業事業団の諸試験や、土壤 pH による植生状況の概要を参考にして一般的な目安をたてると表-5.20 のようになる。

また、松尾鉱山Bたい積場において覆土厚さと土壤 pH の経年変化を調査したところ、以下のような結果が得られた。

調査時期	pH	土壤条件	裸地		覆土厚さ							
					10 cm		20 cm		30 cm		40 cm	
			H ₂ O	KCl								
昭和52年11月			2.2	2.1	3.2	3.2	5.0	4.4	5.0	4.3	5.0	4.3
昭和53年10月			2.2	2.0	3.0	2.8	4.1	3.8	5.1	4.1	5.1	4.1

試験区は昭和52年7月に施工した

基盤が低 pH の場合、土壤の毛管現象などにより覆土厚さが 20 cm では、短期間に基盤の影響を受けた。したがって覆土材は礫などを適当に含んだものが良いと言える。

5章 緑化工法

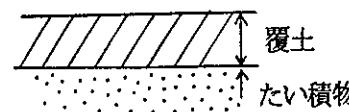
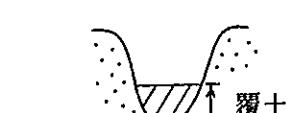
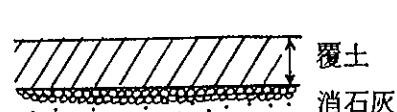
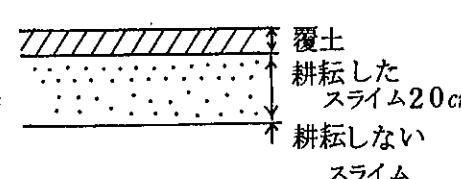
表-5.20 たい積場の覆土厚さの目安

たい積物		立地条件	覆土厚さ の目安 (cm)	緑化基礎工等
pH	物理性			
3.5 未満			30	(1) 超強酸性の場合は、表流水、地下水の遮断も含めた方法の併用を検討する。 (2) たい積物の表層部の物理性及びpHの改良を行うことにより覆土厚さを減少できる。
3.5 以上 ~ 5.0 未満	不良	冷温帶 亜寒帶	30	覆土10cm程度では、たい積物の表層部の物理性及びpHの改良を併せ行うと有効である。
		暖温帶	20~10	覆土の厚さが冷温帶、亜寒帶で10cm、暖温帶で5cmと下限の場合は、pHの改良や施肥などを併せ行うと一層有効である。
	良	冷温帶 亜寒帶	20~10	たい積物の表層部の物理性改良を併せ行うと一層有効である。
		暖温帶	15~5	土壤改良剤、土壤安定剤、施肥などによって表層部を改良すれば、覆土をしなくても緑化は可能な場合がある。
5.0 以上 ~ 7.5	不良	冷温帶 亜寒帶	15~5	
		暖温帶	15~5 又は 0	
	良	冷温帶 亜寒帶	15~5 又は 0	
		暖温帶	0	

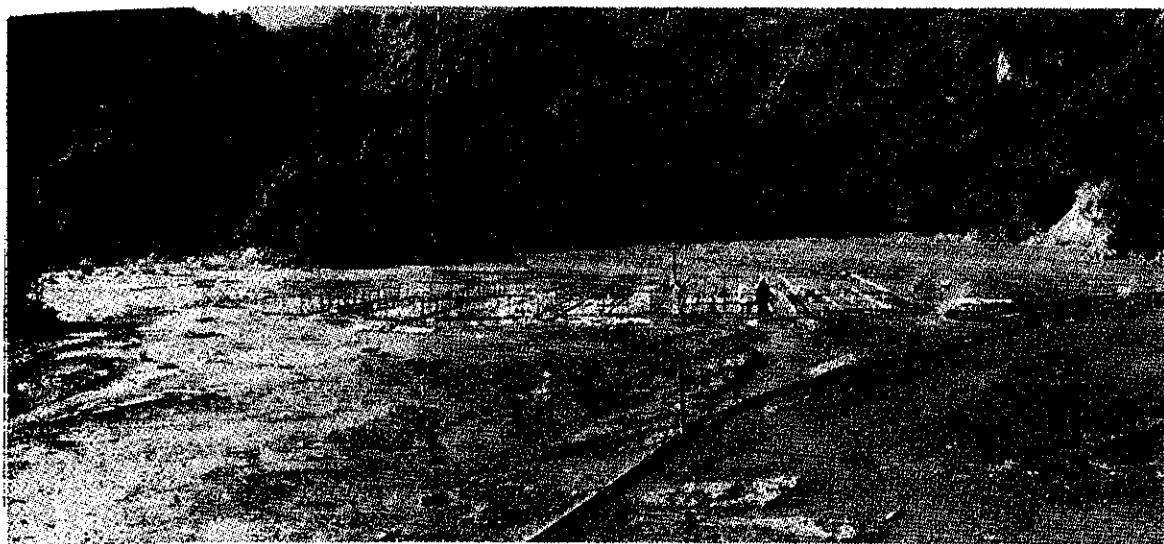
5章・緑化工法

参考までに金属鉱業事業団が行った、緑化試験の結果を表-5.2.1及び表-5.2.2に示す。その結果、覆土厚さが10cmでも牧草の被度は35~100%になつた。

表-5.2.1 覆土及びたい積物の改良方法²⁷⁾

鉱山名	覆土及びたい積物の改良方法
松尾	たい積物の上に覆土を施工した後に、牧草を播種した。 
大正西又	たい積物の表面に深さ30cmの溝を掘り、その中に覆土を施した後に、牧草を播種した。 
小杉沢	スライムの上に0.8~1kg/m²の消石灰を散布し、覆土を施工した後に、牧草を播種した。 
妙法	スライムの表層の厚さ20cmを耕耘し、その上に覆土を施工した後に、牧草を播種した。 

5章 緑化工法



昭和 55 年 1 月



昭和 57 年 9 月

金属鉱業事業団緑化試験場の一例（和歌山県妙法鉱山）

5章・綠化工法

表-5.2.2 覆土厚さと牧草の生育について²⁷⁾

凡例: K 31 F ……ケンタッキー 31 フェスク

WLG ……ウィーピングラブグラス

Tim ……チモシー

CRF ……クリーピングレッドフェスク

K BG ……ケンタッキーブルーグラス

(1) 松尾鉱山

播種方法: 種子吹付

播種時期: 昭和51年7月下旬

覆土の厚さ (cm)	播種1年後の生育状況							
	K 31 F の単播		WLG の単播		Tim の単播		3種の混播	
	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	45	50	35	47	70	42	35	40
20	40	62	70	62	55	44	75	59
30	90	66	40	62	65	68	73	55
40	95	70	65	63	90	71	84	64
50	95	62	65	58	75	65	88	61
60	98	65	75	32	85	76	85	71

5章 緑化工法

② 大正西又鉱山

播種方法：種子吹付 播種時期：昭和51年6月中旬

覆土の厚さ (cm)	播種1.5年後の生育状況							
	K31Fの単播		WLGの単播		CRFの単播		3種の混播	
	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
0	38	42	35	40	15	33	35	40
10	100	45	100	80	100	40	100	80
20	100	45	100	80	100	40	100	80

③ 小杉沢鉱山

播種方法：種子吹付 播種時期：昭和50年7月中旬

覆土の厚さ (cm)	播種3.5カ月後の生育状況					
	K31Fの単播		WLGの単播		2種の混播	
	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
10	40	40	100	60	95	55
20	40	60	100	60	100	60

④ 与内畠鉱山

播種方法：種子吹付 播種時期：昭和53年7月下旬

覆土の厚さ (cm)	播種4カ月後の生育状況					
	K31Fの単播		WLGの単播		4種※の混播	
	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
0	10	5	0	0	0	0
30	100	18	100	93	83	85

※：K31F, WLG, CRF, KBG

5章 緑化工法

(5) 妙法鉱山

播種方法：種子吹付 播種時期：昭和54年9月下旬

覆土の厚さ (cm)	播種9カ月後の生育状況					
	K31Fの単播		WLGの単播		3種※の混播	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
0	50	10	30	25	60	18
5	100	15	95	40	95	38
15	100	25	90	38	90	25

※：K31F, WLG, CRF

b. 酸性土壌のpH改良

土壌のpHが3.5以下の場合には、他の性質や成分が植物の生育に適しても、多くの植物の場合生育が困難である。たい積場の多くは、強酸性のたい積物が点在するので、実際に酸性度を測定し、中和方法を検討する機会がしばしばある。以下、酸性度を測定する要領を示す。

(i) 酸性土壌¹⁴⁾

土壌酸性は、強さと量の両面を持っている。前者は土壌溶液中に現存している H^+ （活性酸性）によって、後者は現存している H^+ と H^+ の給源物量（潜酸性）との総量によっている。

土壌溶液中に存在する活性 H^+ を示すためにはpH法による。酸性土壌を改良する場合には、酸性の量の面からとらえることが必要である。同じ土壌の場合、一般に、酸性が強ければ酸性の量も多いのが普通である。しかし、土壌が異なる場合、酸性は強いが酸性の量の少ないものや、反対に酸性は弱いが量の多いものなどがある。したがって、強さと量との間には必ずしも一定の相関は認められない。

5章 緑化工法

(ii) pH の測定法

(1) pH 法

- pH (H₂O)

土壤：水 = 1 : 2.5 の懸濁液について測定する。土壤粒子から完全に解離して存在する H⁺ のみならず土壤粒子の影響を受けて存在している H⁺ をも測定しているものと考えられ、土壤 pH の実体に近いものといえる。特に植生、土壤微生物活動などに対しては、この測定が有意義であると考えられる。

pH による土壤酸度の標準 (pH (H₂O) の場合)

pH 7.5		7.2	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5
弱アルカリ性	微アルカリ性	中性	微酸性	弱酸性	明酸性	強酸性	ごく強酸性

- pH (KCl)

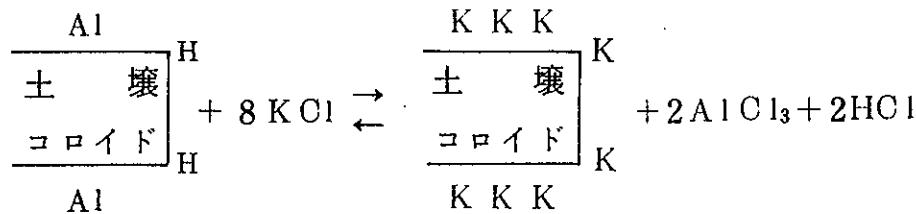
pH (H₂O) は、希釈、施肥、電解質、気候などに敏感で、これに応じて絶えず変化する。これに対し、pH (KCl) は、これらによる影響がほとんどないから、土壤の本質的性質を示すものとされている。土壤 : 1 N - KCl = 1 : 2.5 の状態での測定が通常である。活性 H⁺ に加えて、交換性の H 及び Al をも K⁺ で交換浸出し、この結果、活性化する H⁺ をも測定している。このことから pH (KCl) は酸性の強さというよりむしろ酸性の量に関する値を考えるのが妥当であろう。

我が国の土壤では、pH (KCl) は、pH (H₂O) よりも通常 1 前後低い。

(2) 滴定法

滴定値は置換酸度 Y₁ で示す。置換酸度は、次式に示すように、土壤に強酸の塩である KCl 溶液を加えたときに生ずる HCl 及び AlCl₃ に基づく酸性をいう。測定するには、土壤 100 g に 1 N - KCl 250 ml を加えてよく振とした後ろ過し、ろ液 125 ml をとり、フェノールフタレンを指示薬として 0.1 N - NaOH で滴定し、その滴定値を置換酸度 Y₁ という。3 Y₁ を全酸度とす

5章 緑 化 工 法



ると、全酸度1を中和するために要する CaCO_3 の量は、土壤100%あたり5mgに相当する。

無機質酸性土壤においては、3 Y_1 ～3.5 Y_1 を全酸度とすることによって計算した石灰量の施用で、ほぼ中和目的が達成されるが、腐植質酸性土壤では、真的全酸度は3 Y_1 ～3.5 Y_1 よりもはるかに大きい。このため現在では農地、林野土壤については、本法による中和石灰量の計算は、ほとんど行われていない。

置換酸度(Y_1)による土壤酸度の区分

	1	3	6	15	
中 性	微酸性	弱酸性	強酸性	ごく 強酸性	

(III) 中和石灰量¹⁴⁾

ここでいう中和石灰量とは、必ずしもpH 7まで中和するために必要な石灰量ではなく、植物の生育に適当なpHまで改良するために必要な石灰量を意味している。

中和石灰量の決定には、次の方法がある。

(1) 全酸度から算出する方法

この方法は、土壤により、特に腐植質酸性土壤の場合、石灰量が著しく不足し、中和目的を達しないことがあるので、現在はほとんど用いられていない。

(2) 緩衝曲線から算出する方法

ここでは炭酸カルシウム添加法を示す。

風乾細土10%に沈降性炭酸カルシウムを、それぞれ0, 0.01, 0.02, ……0.1%添加し、ついで水25mlを加え、よく振りませてから24時間放置し、さらに5時間振とうした後、pH(H₂O)を測定する。

5章 緑化工法

例示を引用すると図-5.5は、花崗岩土壌、赤色洪積層土壌、黒色腐植質土壌について、上記、炭酸カルシウム添加法に準じた方法によって求めた緩衝曲線である。この図-5.5に基づいて、これらの土壌をpH(H₂O)6.5まで中和するためには必要なCaCO₃の量を計算してみよう。

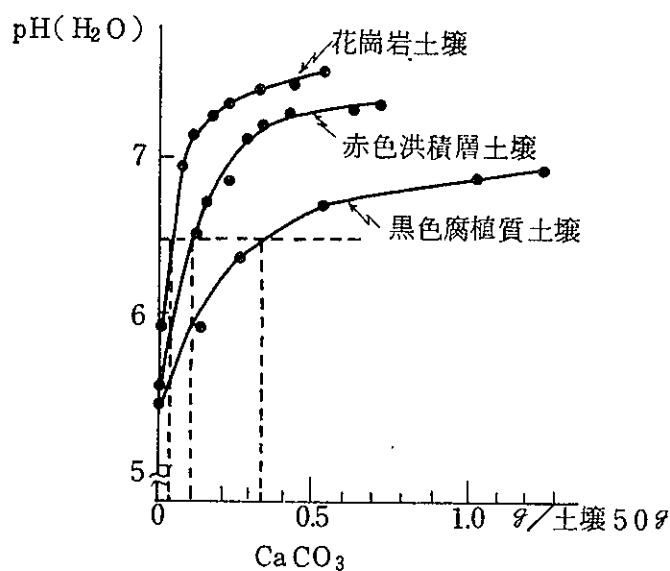


図-5.5 花崗岩土壌、赤色洪積層土壌、黒色腐植質土壌の緩衝曲線

和するために必要なCaCO₃の量を計算してみよう。

10アール=1,000m²であるから、深さ10cmまで中和すると、中和すべき土壌の体積=1,000m²×0.1m=100m³。容積重を、花崗岩土壌、赤色洪積層土壌で1、黒色腐植質土壌で0.7とすると、中和すべき土壌重量は、花崗岩土壌、赤色洪積層土壌で100トン、黒色腐植質土壌で70トンとなる。緩衝曲線から求めた所要CaCO₃の量は、土壌50gあたり花崗岩土壌で0.03g、赤色洪積層土壌で0.1g、黒色腐植質土壌で0.33gである。したがって、10アール、深さ10cmまでの土壌をpH6.5まで中和するためには必要なCaCO₃の量は、花崗岩土壌で60kg、赤色洪積層土壌で200kg、黒色腐植質土壌で462kgとなる。

(3) pH(H₂O)測定値から求める方法

上に述べたように、中和石灰量は土壌によってそれぞれ異なるため、各土壌について実験を行って求めるのが理想である。ここに述べる方法は、最も簡単

5章 緑化工法

に pH(H₂O) の測定値のみから、経験的に一つの目安を得ようとするものであって、高井ら^{注)}は、土壤 pH を 1 上げるのに必要な CaCO₃ の量を、次のように述べている。

腐植質火山灰土壤	220～265 kg / 10 アール
壤質土(非火山灰)	125～155 "
(第三系)粘土質土壤	110～145 "
(海成)砂質土壤	75～100 "
(IV) ごく強酸性土の例 ²⁷⁾	

硫黄鉱山のたい積物には、pH 4 前後のごく強酸性土がある。松尾鉱山の調査事例を、図-5.6 に示す。石灰で基盤土を pH 7 に改良した後植栽試験を行

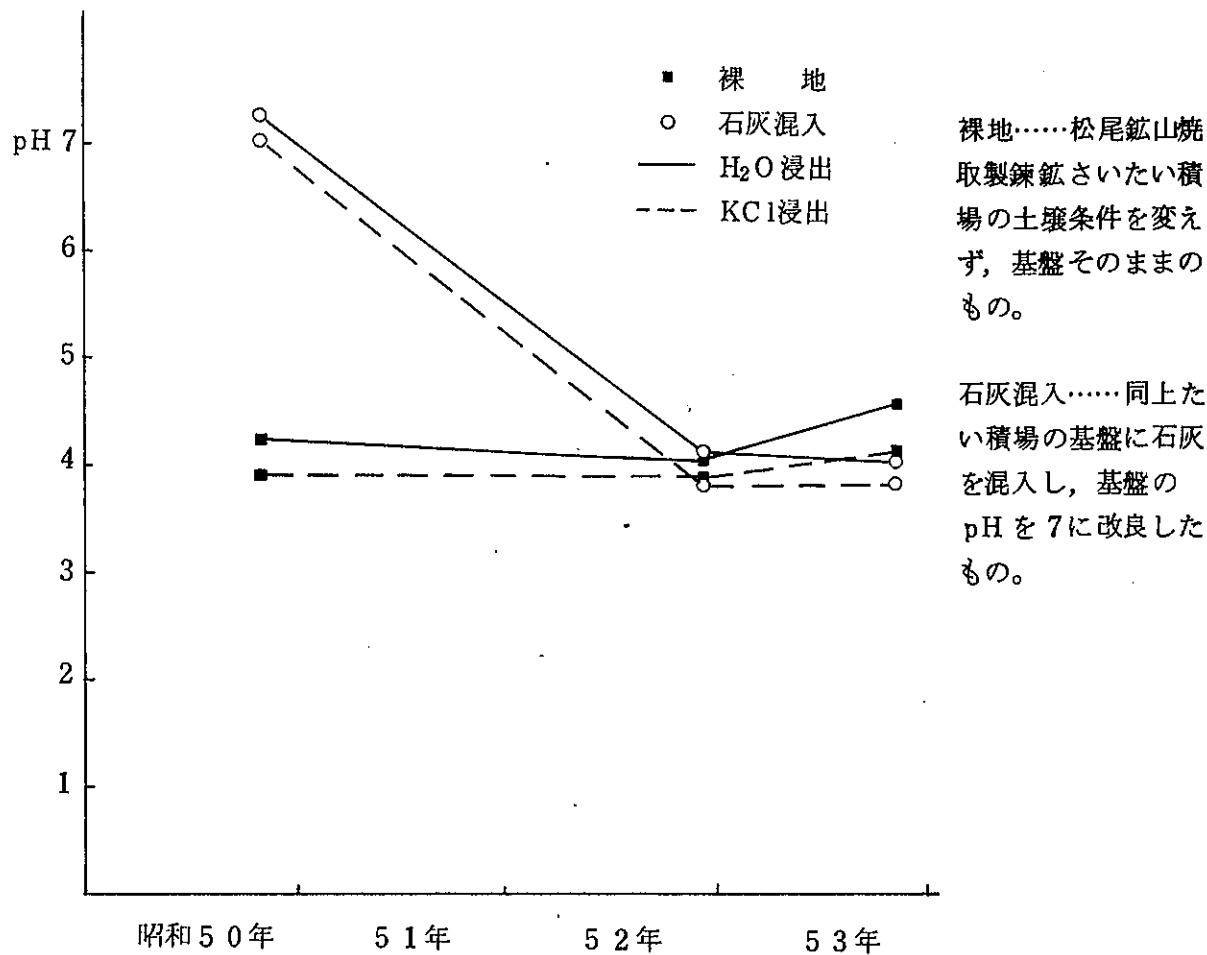


図-5.6 硫黄鉱山たい積物の pH の推移(松尾鉱山)²⁷⁾

注) 高井・三好: 土壌通論 p 161 朝倉書店

5章 緑化工法

ったが、1～2年後には、対照の裸地並のごく強酸性土に復している。これは施用した石灰の流失以外に、毛管現象、上向浸透による酸性水の上昇とか、石灰中和を行った際、未反応の硫黄粒子が風化して硫酸になったためとかの諸因が考えられる。

1～2年で、もとのごく強酸性土に復するようでは、人為的緑化はもとより、自然植生の遷移も期待しにくい。こうした場合は、石灰添加は補助的手段にして、基本的には、表流水、地下水の遮断も含めた他の方法の検討が必要である。

c. 硬質土・透水不良土の改良

(i) 硬質土

道路や運動場のように硬い表層土では、植物は生育しにくい。硬質土は、水分、空気などを含有しにくく、根の伸長が衰える。ごく硬質土の改良方法としては、植栽する箇所の近辺をドリルや小型発破などで砕き、腐植質土のような空隙の多い覆土材を施用すると良い。

土壤硬度の測定法はいろいろあり、それぞれ一長一短があるが、山中式土壤硬度計を用いるのが簡便である。山中式土壤硬度計で測定した硬度と有効土層の関係を、図-5.7に示す。

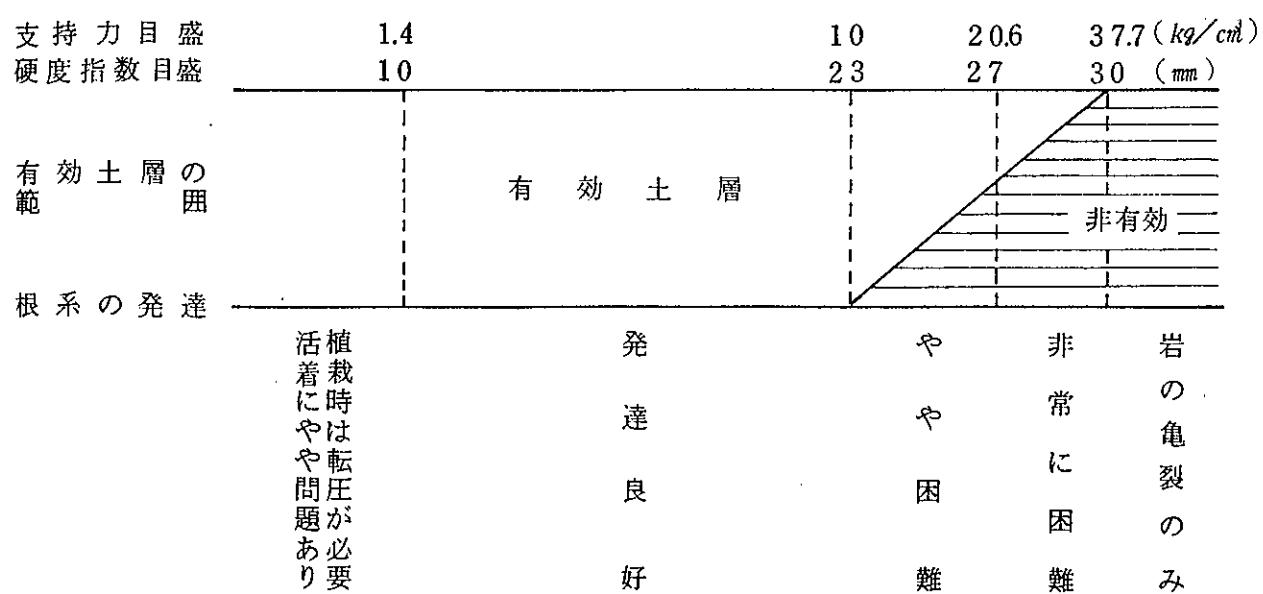


図-5.7 土壤硬度と根系の発達²⁾

5章：綠化工法

土壤硬度は含水量によって変化し、特に粘土質で含水量が多いものは、比較的小さい硬度で根の生長が止まること、岩の亀裂や堅密な砂礫の間隙などでも根は伸長するが、硬度計の指標硬度は非常に大きいなど、いろいろと測定法に問題はある。しかし、大まかな目安となろう²⁾

また、どの程度の硬さになると植物の生長が衰えるかを知るため、関東ロームを用い牧草（K 31 F）の生長を6カ月間調査した結果を図-5.8に示す。

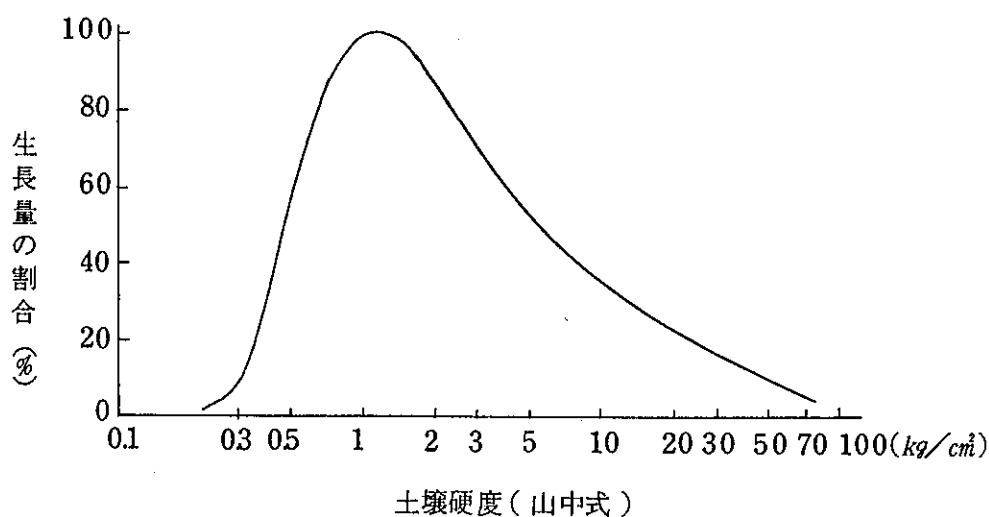


図-5.8 土壤硬度とK 31 Fの生長¹²⁾

土壤が軟かすぎると生長が衰えるのは、土壤が乾燥しやすくなるためと思われ、硬すぎて生長が衰えるのは、根の伸長に対する抵抗力の増大、通気性（O₂）の減少、土壤水分の移動困難などによるものと考えられる。一般に作物の生長に対する上部の限界硬度は、22～27 kg/cm²と云われている。この実験のK 31 Fの場合は、20 kg/cm²前後で根の地中への伸長が著しく減り、30 kg/cm²では、草丈、根長ともほとんど伸長がみられない。したがって、30 kg/cm²を超す土壤では、基盤の改善、硬質土に強い草の採用（植生工の播種牧草の項に記述）が必要となる¹²⁾。

(ii) 透水不良土

土の硬度と関連性が大きい透水性について述べる。

土の透水性を表わす指標として、一般に透水係数が用いられる。この値は浸透水の温度、土壤の間隙構造、間隙内の水の飽和度によって変化する。その中

5章 緑化工法

で決定的な大きな要素は、土壤の間隙構造である。土壤の透水係数の値の一例を表-5.2.3に示す。

表-5.2.3 いろいろな土壤の透水係数¹⁵⁾

土壤の種類		透水係数 (cm/secの次数)
砂		10 ⁻¹ ~ 10 ⁻²
火山灰土壤	関東	10 ⁻²
	岩手	10 ⁻²
赤黄色土	表土	10 ⁻²
	心土	10 ⁻² ~ 10 ⁻⁴
重粘土		< 10 ⁻⁵

さらに、透水係数の区分及び土質の例を必要な部分だけ摘記すると表-5.2.4のようになる。

表-5.2.4 透水係数の区分及び土質¹⁷⁾

透水係数 (cm/sec)	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
透水性	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ゾーン区分	透水性土				半透水性土				コア土			
フィルダム用土 土質例	玉石交り 砂利	礫率(Φ5mmの%) 50% の粗粒土	シルト以下15%> の風化岩、砂利	シルト以下7%以上 の礫交り土	粘土 ペント ナイト アスフ アルト	砂交り礫	シルト交り砂	シルト 粘土20%> の細粒土				

林地土壤の透水性と樹木の生育の関係は、次のようにある。²⁾

飽和透水係数	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	(cm/sec)
樹木の生育	良好	普通	不良	きわめて不	良

5章 緑化工法

したがって、土壤改良の目安としては、 10^{-3} cm/sec の次数である。なお、通常の畑土では 10^{-3} cm/sec 以上、よく耕された畑土では 10^{-2} cm/sec 以上の値を示すと云われている。²⁾

次に金属鉱業事業団で行ったたい積物の耕耘と牧草の生育調査について述べる。

表- 5.25 たい積物の耕耘による牧草の生育状況(大正西又鉱山) ²⁷⁾

露天掘剥土群(pH(H₂O) : 2.7, 透水係数: $1.05 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$),

播種方法: 種子吹付, 播種時期: 5月下旬

方 法	播種 5 カ月 後 の 生 育 状 況							
	K 3 1 F		W L G		C R F		3種の混播	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
たい積物の表層の厚さ 20 cm を耕耘した後に牧草を播種する	33	20	40	45	10	30	40	45
たい積物を耕耘しないで、牧草を播種する	0	0	0	0	0	0	0	0

表- 5.25 に示したように、耕耘することによって、土壤空隙ができて、空気と水分の保持力及び透水性が改善されるため、牧草の生育は良好となることが判明した。

d. 土壤改良剤と土壤安定剤 ⁵⁾

覆土材の入手が困難な場合、各種の土壤改良剤、安定剤を適宜使用することによって、生育基盤を改善することができる。

土壤改良剤は、土に肥料分・水分の保持力を与え、なお容気量を増し、また養分・水分の吸収をよくする團粒化を図るなど、不良土を改良する性質を持っている。反面、表土の流出を助長する性質もある。

これに対して、土壤安定剤は、表土が風、霜柱、凍結、流去水、雨滴によって侵食されないように、表土の強度、粘結度を増し、排水性をよくする性質がある。しかし一方で、植物の発芽や生長を抑制する作用もある。

5章 緑化工法

即ち、改良剤は、不良土改良用で、安定剤は侵食防止用である。つまり、両者は互に相反する用途のものであるから、一つで両方の効果を期待することは難しい。

改良剤の原材料は、有機質、無機質及び合成高分子系の三種であるが、大部分は肥料と土壤改良の効果を兼ねている。たい積場の緑化工では、有機質系が効果的である。

他方、緑化施工後、のり面が草本類で完全に被覆されるには2～3ヶ月を要し、時期が悪いとさらに長期間を必要とする。その期間に大雨があると侵食などの被害を生じ、施工した種子、肥料などが流出する恐れがある。したがって、初期の侵食を防止するためには、植生工の施工時に安定剤を併用することが望ましい。安定剤は固結して効果を発揮するが、我が国のような多雨、多湿の風土では、地表面の水分条件にかかわらず速効性であることが大切で、今日までアスファルト乳剤が多く使われている。

表-5.26、表-5.27、表-5.28に主な、土壤改良剤及び土壤安定剤（侵食防止剤）を示す。

5章 緑 化工法

表-5.26 土壤改良剤の種類と性質の例⁴⁾

種類	物質名	効果・用途
無機系土壤改良剤	ペントナイト	モンモリロナイト系粘土鉱物、ケイ酸とアルミナを主成分としカルシウム、マグネシウム、カリウムなどを含む。塩基置換量が大で、特に火山灰土壤ではコロイドの陽荷電を弱め、根を保護する、土壤酸性の緩和、保肥力の増加のために使用する。
	バーミキュライト	黒雲母变成岩を焼成したもので多孔質の軽い碎片状物質、単位容積重量は120kg/m ³ 程度、砂質土壤の保肥力、保水力の改善、重粘土質土壤の通気性改善に適す。
	ゼオライト	モンモリロナイト、石英、ガラス質などから構成された灰色の鉱物粉碎体、肥料分の流亡防止、保水力の改善に適す。火山灰土の使用量：10kg/m ²
	パーライト	真珠岩を粉碎し熱処理したもので、多孔質の軽い雪状の物質、粘質土壤の通気性の改善・透水性の改善に適す。
	特殊セラミック	粘土及びけい石から作られた無機質多孔性の連続気孔を有するセラミック。保水性、保肥性、通気性に優れ、砂地、湿潤地の改善に適す。
	その他の	黒よう石を粉碎し熱処理したもので、多孔質の軽い灰色の粒状物質。粘質土の透水性の改善に適す。特に排水不良地の植栽に対する生育基盤の造成に有効であり、また、暗渠排水工の目詰まり防止用にも適す。
高分子系土壤改良剤	ポリビニルアルコール系	ポリビニルアルコール。土壤の団粒構造の形成促進、壤土、埴壤土向き。砂地には不適。使用量は0.02～0.1%がよい。
	メラミン系	イオン結合力を主体とする土壤団粒構造の形成に有効。
	ポリエチレン系	ポリアクリル酸ソーダ。使用量0.05～0.1%（重量比）、粘土の団粒構造の形成に有効。
	オレフィン系	オレフィン系合成高分子で、プラスイオンの力により団粒構造を作る。粘土質土壤に有効。
	エチレン系	団粒構造の形成、粘土質土壤に有効。
	尿素系	発泡尿素樹脂。土壤の保水性・通気性の改善・養分の流亡防止に有効。適用範囲は広く粘土質～砂質土壤まで有効。将来、これ自体で分解して窒素を供給する。
有機質系土壤改良剤	ウレタン屑スチロール屑	通気性、透水性の改良。ヘドロ地や粘土質土壤に有効。
	泥炭	高位泥炭を乾燥粉碎したもの。塩基置換容量の向上、養分の保持力の増大。保水性、通気性の改善に有効。 使用量：火山灰土 20kg/m ³ （ビートモス） 砂質土 10～15kg/m ³ （ビートモス）
	亜炭・褐炭	フミン酸系（ニトロフミン酸としNH ₄ , Ca）などを加えた腐植酸質肥料。養分供給の増大。
	バク系	土壤の保肥力の増強。土壤微生物の活動促進。 使用量：火山灰土 10kg/m ³
石灰質材料	その他の	土壤の保肥力の増強。土壤微生物の活動促進。 (魚粉), (都市ゴミ), (し尿汚泥)
	石灰(生石灰・消石灰)、炭酸石灰、ケイ酸石灰、炭酸マグネシウム	土壤酸度の改良、土壤中の不可給態の養分を可給態に変える。しかし多量に施すと鉄・マンガン、ホウ素などの微量養分を不可給態化することがある。pH 5未満の場合には改良が必要である。

5章 緑化工法

表-5.27 侵食防止剤の例^{注)}

薬剤一般名	一般的使用法	備考
酢酸ビニール系 エマルジョン	2液式 被膜性 10~30倍液を 1~2ℓ/m ² 散布	2液を混合することにより、エ マルジョンを不安定にし、凝集 しやすくなっている。
合成ゴムラテック クス	1液式 被膜性 3~10倍液を 1~2ℓ/m ² 散布	粘着剤を加え、被膜性を高くし てある。
アクリル系エマ ルジョン	1液式 被膜性 5~20倍液を 1~2ℓ/m ² 散布	同上
アクリル酸エス テルエマルジョン	2液式(助剤散布後本液を散布する)ただし 植生工用としては1液式5~20倍液を1.5 ℓ/m ² 散布	助剤によりゲル化させる。
ウレタン系水溶 性樹脂	2液式(1液式でもよい) 10~20倍液 を1~2ℓ/m ² 散布	地表面の水、希釈水と反応して、 ゲル体を形成する。
カチオン系アス ファルト乳剤	1液式 被膜性 2倍液を1~2ℓ/m ² 散布	土粒子と接触し分解する。

表-5.28 侵食防止剤の用い方^{注)}

薬剤種別	特 性	適用範囲	標準仕様
ウレタン系水溶性樹 脂	速効性、耐久性強い、高価である、特 殊な散布機を要する	施工が多雨期のとき 芝草生長がある程度 不適期にかかるとき	濃度7%, 2ℓ/m ²
カチオン系アスファ ルト乳剤	速効性、耐久性少ない、施工機器等が 汚染される 発芽遅延がかなりあり、たねと接触が 少ない工法をとるべきである。種子、 肥料等と混合できない	施工が多雨期のとき 芝草の生育好適期	2倍液 1.5ℓ/m ²
他の被膜性薬剤(速 効性仕様のもの、2 液式又は粘着剤付加 など)	やや速効性、耐久性少ない、ポーラス 材付加により耐久性を増大できる。施 工は簡単である。種子、肥料などと混 合できるものもある	芝草の生育好適期	濃度10%, 2ℓ/m ² 程 度のものが 多い
浸透性薬剤	十分乾燥しないと効果がない、耐久性 はある。種子肥料などと混合できるも のが多い	砂丘地など十分な乾 燥が期待できるとき	同上

注) 小橋澄治: 斜面安定, 土質工学基礎叢書9, 鹿島出版会(1977)

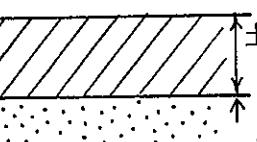
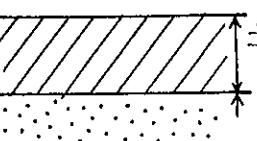
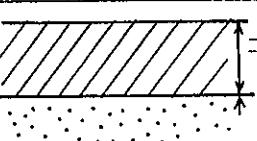
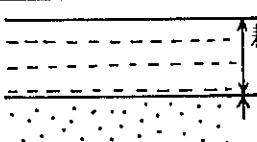
5章 緑化工法

次に、金属鉱業事業団が行った土壤改良剤及び土壤安定剤の施用試験について記述する。

妙法鉱山のスライムたい積場で、土壤改良剤の「ソイルフィックス」を用いて牧草の生育試験を行った。試験結果を表-5.2.9に示す。

表- 5.2.9 スライムたい積場における土壤改良剤施用試験(妙法鉱山)²⁷⁾

播種方法：種子吹付 播種時期：昭和55年9月下旬（改良剤使用）
昭和54年9月中旬（改良剤使用せず）

方 法	方 法 の 説 明	播種 2 カ月後 の 生育 状況		
		K 31F, WLG, CRF の 混播	被度 (%)	草丈 (cm)
土壤改良剤 を 使用 し た 場 合	スライムの表層の厚さ 20 cm に、 土壤改良剤を 土壤重量の 0.5 % 混入し、 牧草を 播種す る。		75	7
同 上	スライムの表層の厚さ 20 cm に、 土壤改良剤を 土壤重量の 1 % 混入し、 牧草を 播種す る。		70	5
同 上	スライムの表層の厚さ 20 cm に、 土壤改良剤を 土壤重量の 2 % 混入し、 牧草を 播種す る。		50	3
土壤改良剤 を 使 用 し な か っ た 場 合	スライムの表層の厚さ 20 cm を 耕耘し、 牧草を 播種す る。		60	14.5

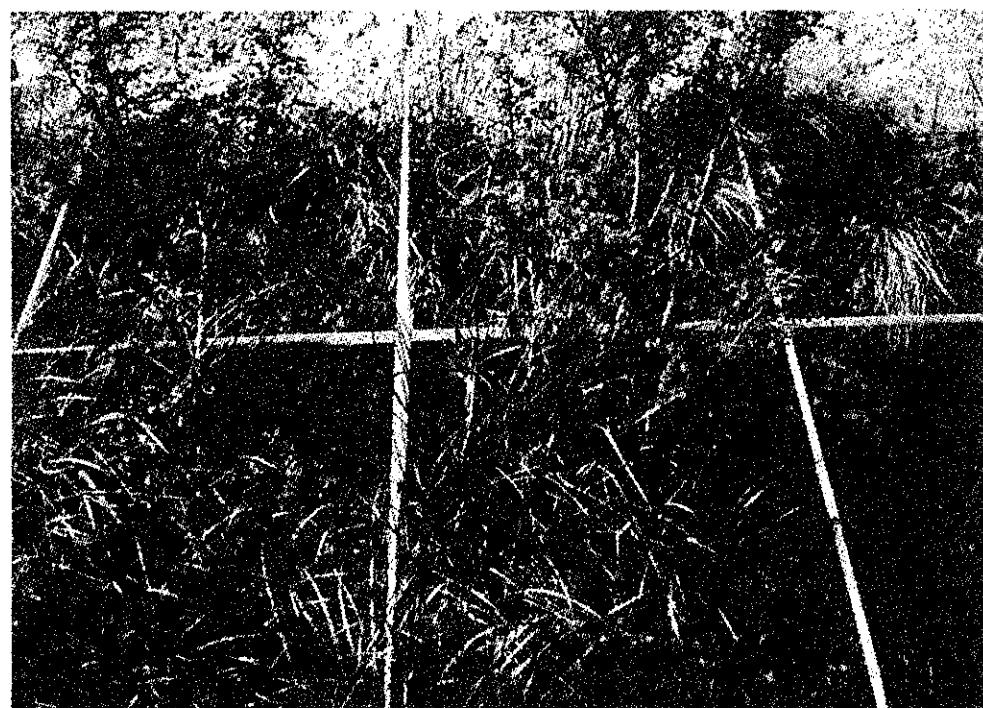
土壤改良剤を使用した場合の特徴は次のとおりである。

- ① 播種した牧草の被度が向上する。これは、土壤改良剤の混入によって、土壤構造（団粒化）が良くなつたためと考えられる。
 - ② しかし、使用量を十分に検討しないと条件によっては逆効果にもなる。

5章 緑化工法



ソイルフィックスによる緑化試験（和歌山県妙法鉱山）



ソイルフィックスによる緑化試験（栃木県足尾鉱山）

5章 緑化工法

妙法鉱山のスライムたい積場において、土壤安定剤について牧草生育に及ぼす効果を試験した。試験結果を表-5.30に示す。

表-5.30 スライムたい積場における土壤
安定剤施用試験（妙法鉱山）²⁷⁾

播種方法：種子吹付 播種時期：9月中旬

被覆材 の種類	方法の説明	播種9カ月後の生育状況						
		K31F		WLG		3種(K31F, WLG,CRL の混播)		
		被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)	
アスファルト乳剤	スライムの表層の厚さ20cmを耕耘し牧草を播種した後に、2倍に希釈したアスファルト乳剤を1ℓ/m ² 散布し被覆する。		70	7	70	18	80	20
合成樹脂剤 (セキスイ エスシックス)	スライムの表層の厚さ20cmを耕耘し牧草を播種した後に、セキスイエスシックス5%溶液を2ℓ/m ² 散布し、被覆する。		90	7	60	19	45	8
被覆を行わ なかつた	スライムの表層の厚さ20cmを耕耘し、牧草を播種する。		50	10	30	25	60	18

この結果、土壤安定剤による被覆を行つた場合、被度において効果がみられた。

5章 緑化工法

e. 施肥

植生工における播種法の項で述べるように、種子とともに肥料を入れて、幼植物の肥培をする工法が広く行われている。

ここでは、たい積場の立地条件、生態遷移などを考慮して、肥培のあり方を考えてみたい。

(i) 施肥の考え方

速効性肥料で化学的肥培を続けることは、生態遷移の妨げになる。まず、土壤の物理的構造が水分や空気の保持に適正であること、そして生物的肥培法（緑肥作物、肥料木草、土壤小動物、微生物など）で逐次改良されることが好ましい。

土壤の物理的性質（保水性、排水性、孔隙など）の良否を判断する尺度として、前述の土壤硬度、透水係数を知ることが簡便である。化学的肥培にしても、主体は有機質肥料を用い、化学的肥料は補助的と考えた方がよい。

つまり、たい積場緑化の目的は、農林業のような植物の収量の増加にあるのではなく、人為的緑化から順調に生態遷移を進めるのがねらいである。したがって、施肥などによる人為的な初期緑化が旺盛すぎ、かえって生態遷移を妨げることのないよう配慮すべきである。

(ii) 肥料の種類と施肥量

たい積場では傾斜地、特にのり面の土壤侵食を防止するため、面状緑化を施工する場合が多い。即ち、生態遷移が若干遅くても、面状緑化が維持されることが要求される。

次に参考として、林地肥培や綠化工用の肥料の種類及び施肥の要点などを示す。

草本類の施肥量は、本肥として、速効性肥料の場合、窒素、リン、カリを各々 $10\text{kg}/m^2$ が目安となる。ただし、遅効性肥料を併用する場合は、前記の約 50% 増とする。さらに、追肥が必要な場合には、本肥の 30~50% が適量である。¹⁸⁾

植栽施工 5 年後を目標に、うつ閉した低木林にするため、窒素は、常緑広葉樹林で 50~80, アカマツ林で 30~60 kg/ha/年 が 必要である。

ただし、植栽当年は肥料やけの恐れがあるので表-5.3.1 に示すように少な

5章 緑化工法

目にする。¹⁴⁾

表-5.3.1 植栽当年の施肥基準量(1本当りg)²⁾

樹種	窒素	リン	カリ
スギ	8~12	5~7	5~7
ヒノキ	8~10	5~6	5~6
アカマツ・クロマツ	6~8	4~5	4~5
肥料木	3~6	6~12	5~10
その他の広葉樹	10~14	7~8	5~8

なお、傾斜地では侵食を受けやすく、養分の流亡が激しいため、リン酸肥料を施用して、地下部、根系の発達を促進する。砂質土は埴質土よりも、また、高温時は低温時よりも、施肥による障害が起りやすい。したがって、数回に分けて施肥する必要がある。

肥料は一般に入手や取扱いが容易な化成肥料が用いられる。化成肥料は成分含有量合計が30%を基準として、低度化成肥料(30%以下)と高度化成肥料(30%以上)とに分類される。後者の方が1袋の値段は高いが運賃が安くつくため、全体としてkg当たり価格は安い。

化成肥料の銘柄は製造会社によって多種多様であるが、一般に窒素(N)、リン(P)、カリ(K)の含有量(%)によってN-P-Kとして表示されている。例えば、窒素、リン、カリが各々10%含まれている肥料は10-10-10と表示する。

傾斜面の牧草の場合、化成肥料は14-17-13のようなリン分の多いものを用いる。

化成肥料の使用量は工法によって異なる。

例えば、種子吹付工法の場合、窒素の目安を10g/m²とし、14-17-13の肥料ならば、約75g/m²(10g/m² ÷ 0.14 = 71.5g/m²)が必要となる。

肥料の種類と特徴及び施肥の要点を表-5.3.2、表-5.3.3に示す。

5章 緑化工法

表-5.3.2 肥料の種類と特質¹⁹⁾

おもな窒素肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
硫 安 (アンモニア態窒素)	代表的なアンモニア態窒素肥料、純製品窒素21.0%を含む。水に溶けやすく速効性。本肥、追肥に適す。吸収後硫酸根が残り酸性を呈する。
硝 安 (硝酸態窒素)	水に溶けやすく速効性であるが、流亡しやすい。本肥はさけ、追肥に用いる。生理的中性肥料。
尿 素	純製品は46.65%の窒素を含む。水によく溶解する。生理的中性肥料。速効性。
石 灰 窒 素 (シアナミド性 窒素)	灰黒色の重い粉末で窒素分を20~24%含む。施肥直後の播種・植付けはさける(シアナミドは有害で、直接根や葉にふれると枯死する)。また、一時に湿気を吸うと、デシアン、デアミドができ生育が阻害される。遅効性。
緩効性窒素肥料	窒素の形態を化学的に変化させ肥効の発現を遅らせた化学肥料。肥効に持続性があり、また、流亡が少ないので、樹木用として最適である。

おもなリン酸肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
過リン酸石灰	水に溶けやすく、速効性である。本肥用、追肥用。酸性土では石灰を十分に施用する。火山灰土では、リンの固定が行われ無効化するのでこれを防ぐために堆肥を併用する。
溶成リン肥	リン酸は水に溶けにくく過リン酸石灰より遅効性である。本肥用、肥効は高く、火山灰土や酸性土壤に適する。硫安、硝安、過リン酸石灰などの酸性肥料と混合してはならない。

おもなカリ肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
塩化カリ	白色の結晶で、カリ分を約60%含む。水溶性カリを50%含み、速効性で肥効が高い。生理的に酸性肥料であるので、石灰を施すのがよい。
硫酸カリ	カリ分を約50%含有し、このうち水溶性カリは45%以上、速効性、生理的酸性肥料。

おもな複合肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
高度化成肥料	N.P.Kの合計が30%以上のものをいう。硫加リン安系、尿素リン安系のものが樹木用として適する。(30%以下のものを低度化成肥料という)
固 形 肥 料 (第2種複合肥料)	複合肥料に泥炭を加え3mm以上に成形した肥料で大豆や小豆ぐらいの大きさ(粒径6~10mm)の粒状固形肥料と豆炭状(1個10~15g)の大形固形肥料とがある。植栽木にこの大形固形肥料は多用されている。
液 体 複 合 肥 料	液体肥料、葉面散布肥料で追肥用。

5章 緑化工法

表-5.3.3 土壤と施肥の要点¹⁹⁾

土壤の種類	特 性	施肥のポイント
砂質土壤	• 養分が流出しやすい	• 有機質の投入 • 有機質性肥料の使用 • 固形肥料の効果大 • リン酸は溶成リン肥がよい
火山灰土	• リン酸が土壤に固定される • 植物に吸収されにくい • 酸性土	• 堆肥など有機質の多量投入 • 溶性リン酸肥料の使用 • 酸度矯正（石灰の施用）
重粘土 (湿潤地)	• 排水不良、通気性不良による生育不良、根腐れ • 根系の発達不良——樹冠先端の枯損、風倒	• そのままの状態で化学肥料の多量投入は濃度障害になる • 暗き排水などの緑化基礎工の設置と併用し、通気性改良を目的とする土地改良を行う（ウレタン層、スチロール粉、パーライト、砂など） • 有機質資材の投入

次に、金属鉱業事業団が行った、たい積場の緑化試験での肥料及び土壤安定剤施用例を示す。

たい積場は一般にやせ土であるため、牧草の播種に際し、本肥及び追肥として化成肥料を施用した。また、合成樹脂系及びファイバー類の土壤安定剤を使用して緑化試験を行った。²⁷⁾

5章 緑化工法

① 種子吹付時に使用した肥料

鉱山名	肥料とその使用量(g/m^2)	石灰とその使用量(g/m^2)
松尾	粒状化成肥料 150	使用せず
大正西又	高度化成肥料 200	消石灰 150
小杉沢	" 200	使用せず
与内畑	" 200	"
妙法	" 150	消石灰 100

② 追肥

鉱山名	施用時期	肥料とその使用量(g/m^2)
妙法	播種1年後	高度化成肥料 50

③ 種子吹付時に使用した土壤安定剤

鉱山名	合成樹脂系の使用量(l/m^2)	ファイバー類の使用量(l/m^2)
松尾	0.1	100
大正西又	0.1	100
小杉沢	0.1	使用せず
与内畑	0.1	100
妙法	使用せず	使用せず

(III) 土壤の土性及び化学的性質

施肥に際しては、地力に関する土壤の諸性質を把握しておく必要がある。そのため、土性及び化学的性質を調査する。

次に、これらの指標的項目について述べる。

5章 緑化工法

(1) 土性²⁰⁾

土壤の各粒子群の含有割合を土壤の機械的(理学的)組成といい、機械的組成の精粗による土壤の類別を土性という。土壤の各粒子群の分け方は各国で異なるが、現在では国際土壤学会法が広く用いられている。(表-5.3.4参照)
土性の区分は日本農学会法では、粘土の含有割合で5段階に分け(表-5.3.5参照)，国際法では粘土と微砂と砂(粗砂+細砂)の3者の含有量により、砂土から重埴土までの11段階に分けている(図-5.9参照)，なお、土壤のなかに礫を50%以上含むものを礫土、腐植を20%以上含むものを腐植土と呼ぶ。

表-5.3.4 土壤粒子の大きさの区分

直 径 (mm)	粒 子 名	直 径 (mm)
> 2	礫 gravel	> 2
2 ~ 0.25	粗 砂 coarse sand	2 ~ 0.2
0.25 ~ 0.05	細 砂 fine sand	0.2 ~ 0.02
0.05 ~ 0.01	微 砂 silt	0.02 ~ 0.002
0.01 >	粘 土 clay	0.002 >
日本農学会法		国際土壤学会法

表-5.3.5 日本農学会法による土性区分

土 性 の 名 称	粘土含量(細土中%)
砂 土 sand (S)	< 12.5
砂 壤 土 sandy loam (SL)	12.5 ~ 25.0
壤 土 loam (L)	25.0 ~ 37.5
埴 壤 土 clayey loam (CL)	37.5 ~ 50.0
埴 土 clay (C)	> 50.0

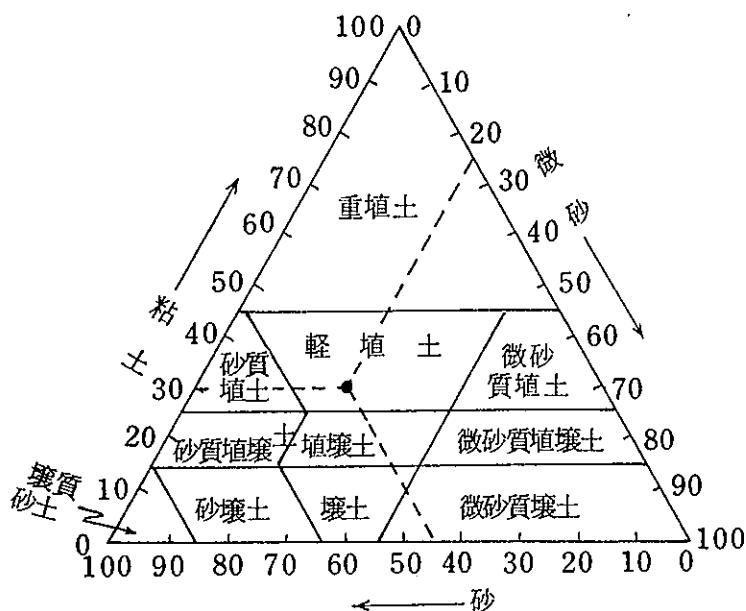


図-5.9 國際法による土性名の決め方(単位: %)

(2) 置換性塩基¹⁴⁾

普通の土壤コロイド(土壤膠質物)は、塩基性が弱く陰性に帶電していて、その外側にいろいろの陽イオン(塩基と水素イオン)を電気的に吸着している。この塩基は他の基で容易に置換される。他の塩基によって容易に溶出する塩基を置換性塩基という。置換性塩基は種類によって、置換性カルシウム、置換性カリウム、置換性マグネシウムなどといい、Ex-Ca, Ex-K, Ex-Mgなどと略記する。最も多いのは置換性カルシウムであるが、その量は土壤によって著しく異なり、一般に置換性カルシウムの多い土壤は團粒構造をとり易く、生産力が高い。

塩基が流亡して不足すると、水素イオンH⁺を吸着するため土壤は酸性化し、土壤構造は単粒化するので、通気と透水が不良となる。我が国の土壤の置換性塩基の割合については、次のような報告がある。

土壤の区分	置換性 塩基			
	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)
平均	61.20	26.04	2.71	10.69
pH 6以上の土壤	76.47	14.14	1.62	7.05
pH 6以下の土壤	43.40	29.53	3.39	14.94

5章、綠化工法

ここで pH 6 以下の土壤でカルシウムが少ないのは、日本の気象が多湿なため、カルシウムが洗い流されやすいためといわれている。また、従来報告されている実験データによれば、置換性カルシウムは 28 mg (CaO) / 乾土 100 g 以下、置換性カリは 5 mg (K₂O) / 乾土 100 g 以下、置換性マグネシウムは 10 mg (MgO) / 乾土 100 g 以下で、作物に欠乏症がおこるといわれている。

(3) 塩基置換容量 (C.E.C)¹⁴⁾

土壤コロイドが塩基イオンだけを吸着している場合を、塩基飽和コロイド、一部の塩基イオンが水素イオン H⁺ で置換されている場合を不飽和コロイドという。そして、土壤コロイドが塩基イオンで飽和されている場合の塩基イオンの総量、即ち、土壤コロイドの吸収しうる塩基イオンの最大量を塩基置換容量 (C.E.C) といい、通常、乾土 100 g 当たりの mg 当量 (me) で表わす。

しかし、自然状態では、土壤コロイドが塩基イオンで飽和していることは稀で、多くの場合、不飽和の状態にあるが、塩基置換容量の何 % が塩基イオンで占められているかを塩基飽和度といい、次式で示される。

$$\text{塩基飽和度} = \frac{\text{E.B}}{\text{C.E.C}} \times 100 (\%) \quad \text{ただし E.B : 置換性塩基イオンの量}$$

一般には塩基飽和度が小さくなるほど、土壤は酸性に傾き、生産力は減少する。置換容量は、土壤中に存在する粘土と腐植の含量に大きく左右され、一般に粘土分の多い土壤は大きい値となる。

粘土鉱物の種類による置換容量は、次の値を示すといわれている。

粘土鉱物の塩基置換容量^{注)}

(me / 100 g)

モンモリロナイト	60~150
バーミキュライト	100~150
クロライト	10~40
イライト	10~40
カオリナイト	3~15
ハロイサイト	5~10
加水ハロイサイト	40~50
アロフーン	10~60

(溶液の pH 及び濃度の影響が大きい)

注) 蒼野一郎編：日本の土壤型、農山漁村文化協会(1972)

5章 緑化工法

(4) リン酸吸収係数¹⁴⁾

土壤中の遊離酸化鉄やアルミニウムがリン酸と結合して、難溶性リン酸化合物を生成する。この反応は、土壤が酸性になるなど起こりやすく、土壤が酸性の場合のリン酸吸収の主な要因をなしている。また、土壤の酸性が弱い場合（pH 6.0以上）は、リン酸は土壤のEx-Caと化合して難溶性のリン酸二石灰やリン酸三石灰を生成する。

以上のように、土壤に施用されたリン酸肥料が土壤コロイドと作用して、難溶性の化合物を作り、植物根によって容易に吸収しにくい状態になる現象を、リン酸の固定という。土壤がリン酸を吸収固定する力は土壤のリン酸吸収係数※が大きいほど大きい。

※ 土壤100gに2.5%リン酸アンモニウム($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)液を作用させ、土壤が吸収したリン酸(P_2O_5)のmg数を算出し、土壤のリン酸吸収係数とする。

土壤のリン酸吸収係数は、次のように区分される。

リン酸吸収係数	程度
1,200以上	はなはだ多い
950～1,200	多い
750～950	やや多い
600～750	中くらい
450～600	やや少ない
300～450	少ない
300以下	はなはだ少ない

火山灰土壤のように、リン酸吸収力の強い土壤は、リン酸の固定を防止する方法をとらなければ、リン酸肥料の肥効をあげることはできない。

堆肥などの有機物の施用はリン酸肥料の肥効を増大する。これは、有機物中の腐植酸やコロイド状の珪酸がリン酸の吸収を防ぐためである。

また、リン酸吸収係数が著しく小さい土壤では、リン酸が雨水などにより流失しやすい。

5章 緑化工法

(5) 土壌の腐植¹⁴⁾

腐植とは土壤の表面や内部で死んだ動植物、特に植物体が主に微生物の作用を受けて分解したり、合成されるなど複雑な過程を経てできる褐色ないし暗褐色のコロイド状の物質である。土壤に腐植が多く含まれると、土壤は暗色～黒色を呈する。ある種の黒色土や泥炭土のように酸性腐植の集積した不良土もあるが、一般には腐植に富むほど肥沃な土壤である。

土壤中の腐植含有量により、次のように区分される。

腐植含有量	土壤
2～5%	腐植を含む
5～10%	腐植に富む
10～20%	腐植にすこぶる富む
20%以上	腐植土

腐植の効用は次のとおりである。

- ① 土壤に暗褐色～黒色を与える、地温を上昇させる。
- ② 腐植はCa, Mg, K, NH₄などの塩基を吸着保持する力が強く、その能力は粘土の約7倍に相当するとされている。
- ③ このように、腐植は養分の流亡を防止するばかりでなく、土壤の緩衝能を増大し、土壤の酸性化を防止する。また重金属イオンの有害作用を少なくする作用がある。
- ④ 腐植は土壤粒子を結合させ、団粒構造をつくる性質があり、土壤の物理性を良好にする。
- ⑤ 腐植は水をよく吸収する性質があり、土壤の容水量を増大するので、乾燥の害を軽くする。
- ⑥ 腐植は土壤のリン酸吸収力を減少させる作用があり、施用したリン酸肥料の肥効を高める。
- ⑦ 腐植は微生物の活動を盛んにして、土壤中の有用な化学変化、例えばアンモニア化成作用などを促進する。

5・2・4 排水工

植生が欠如する原因には、いくつかの要素が考えられるが、地表水あるいは浸透水などの作用が原因となっている事例は極めて多い。地表水は表土を洗掘流し出し、植生の生育基盤を崩壊する。また浸透水の浸出は植生の根腐れを起こして枯死させことが多い。即ち、一般的に植物の根は地下水面より深くは伸長することはない。地下水位は植穴を深めに掘ることによって、おおよその目安が得られる。ただし、地下水位は季節、天候によって左右されるので、これを念頭におく必要がある。降雨の少ない季節に水の溜らなかつた場所も降雨が多くなれば滯水する危険もある。湧水についても同様で、それが一時的なものか永続するものか、また季節と量との関係等慎重に見極める必要がある。

たい積場における排水施設は事前の調査に基づいて計画されるが、集中豪雨時の出水や、地中の浸透水の動きは、施工中や施工後に判明することが多いので、適宜計画を変更したり、手直しを行って有効な排水施設を設けていくことが大切である。排水施設が適切でないとかえって事故を起こす原因となるので、十分注意する必要がある。

a. 地表水の排水処理

地表水を大別すると、たい積場周辺の山腹から流下してくる地表水と、たい積場内の降雨（降雪）による地表水に分けられる。前者は山腹水路もしくは、上流沢水排水路（開渠、底設暗渠、隧道）によって下流側へ排水する。後者はのり面の場合、のり肩排水工、小段排水工などで集水し、縦排水工を経て下流側へ排水する。場内水は、上流側の底設暗渠の呑口又はのり面の縦排水工へ導水する。

排水施設の設計に当たっては、事前に降雨、地表面の状況（流出係数の決定）、地形、土質などを十分調査し排水量を決定する。計画する排水工の断面は土砂などのたい積を考慮して余裕をもった断面とするが、集中豪雨の際多量の土砂が流出する恐れがある場合や、施工後点検、清掃などが困難な場合はさらに余裕をもたせる必要がある。

また排水工の屈曲点、勾配変化点（急→緩）は、落葉や土砂が溜りやすいので極力避けるようにしなければならない。

b. 浸透水の処理

たい積場への浸透水を大別すると、地山からのものと場内水やのり面への降雨によるものとに分けられる。両者の場合とも供給源を断つことが原則であるが、休廃止鉱山におけるたい積場のようにすでにたい積が完了している場合は非常に困難であり、多額の工事費を要する。

浸透水を排除する処理工としては、集排水井、水平排水孔などがある。新規にたい積する場合では盲みぞ、多孔管の埋設が効果的である。

c. 排水工の維持管理¹⁶⁾

のり面の洗掘は地表水の処理不良に起因することが多く、常に排水施設を良好な状態に維持しなければならない。このため、定期的に点検し、機能の保持に注意することが必要である。特に降雨時あるいは降雨直後に排水状況を見回ると排水機能の良否が見分けられ欠陥をはっきりつかむことができる。

のり面排水工の機能維持は特に高い盛土、大きな切土箇所について重要であり、小段に設けた排水溝及びのり肩に設けたのり肩排水溝は崩土、落石、雑草などで埋まっていることがないよう、また、これら排水溝の水が縦排水溝以外から流下しないよう注意しなければならない。縦排水溝がU形溝で作られている場合、施工が不十分で水が跳ね出したり、裏水による洗掘によって土砂が流れたりするので破損が見つかったときは、その部分のU形溝を取りはずし、基礎及び周囲を十分補修しなければならない。のり面に有害な湧水を発見したときは新しく水抜き穴を設けたり、斜面の土砂が洗い流されないような適当な排水施設を作るなど早急に対策を講じなければならない。

以上述べた点を考慮しのり面工の点検と合わせて排水施設の日常の維持管理のために、次に示す項目を重点的に点検するとよい。

(1) 表面水の排水工からの流出によるのり面の洗掘崩壊の防止のため

- ① 降雨直後の排水施設の排水状況
- ② 排水工内の土砂、流木のたい積状況
- ③ のり面の侵食状況
- ④ 排水工の傾斜及び移動状況
- ⑤ 排水工の破損
- ⑥ 排水工両側の凹み

5章 緑化工法

(2) 浸透水によるのり面の崩壊防止のため

- ① 降雨直後ののり面の湿潤状態
- ② のり面からの湧水状況の変化
- ③ 排水孔からの流出量の変化
- ④ 排水孔内の目詰まり状況
- ⑤ 排水工底部の亀裂及び損傷
- ⑥ のり面工の目地からの湧水

5・2・5 気象対策

種子が発芽し活着するには、水分が必要である。また、幼植物や苗木などは乾燥や低温、寒風に対する抵抗力が弱いため、施工後の保護対策が必要である。

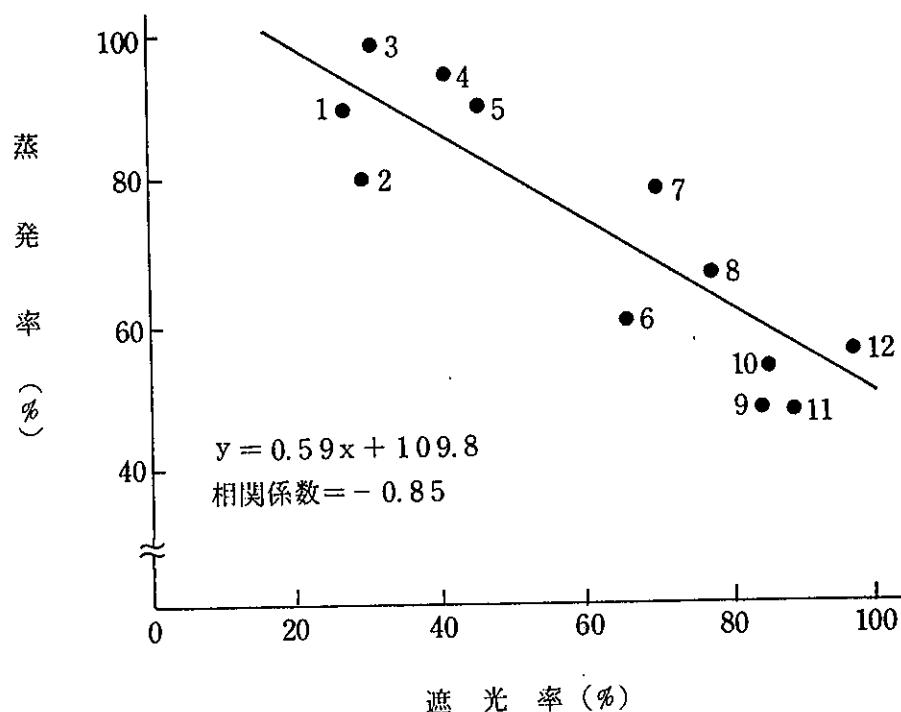
勿論、立地条件に適した耐乾性、耐寒冷性のある植物を採用するように心掛けるとともに植生工においても十分この点に配慮することも必要である。

a. 乾燥防止

土壤の乾燥を防止し、播種子や苗木の生長を促進するため、各種の被覆材が使用されている。

市販材料の乾燥防止効果について、東京農業大学緑化工学研究室が行った試験結果を、図-5.10に示す。

5章 緑 化 工 法

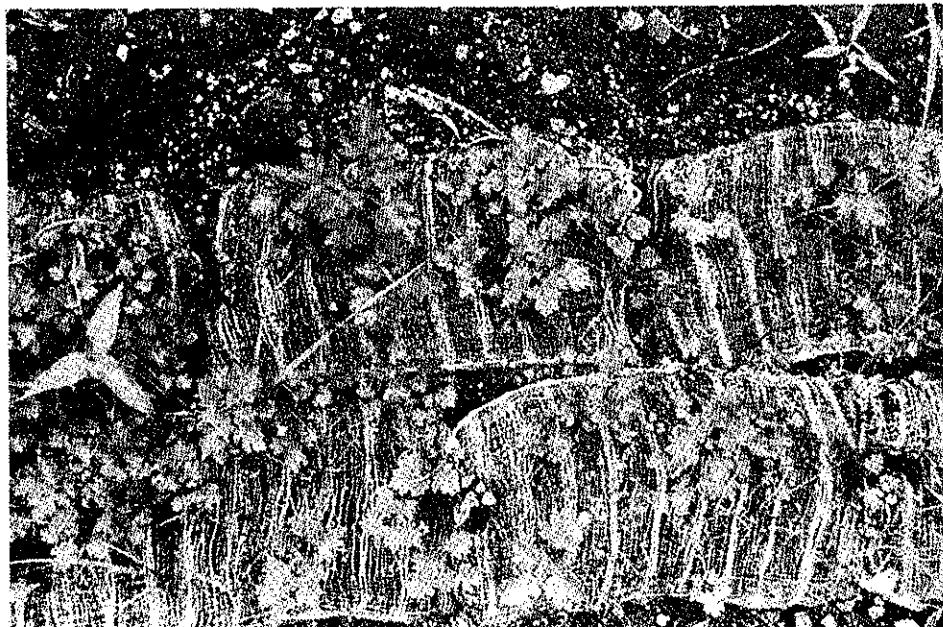


- 1 : 寒冷沙
- 2 : 不織布ネット(スフ+パイレン)
- 3 : 米国製エロージョネット
- 4 : ビニルネット
- 5 : ガラボーア薄地
- 6 : ウレタンシート
- 7 : ガラボーア厚地
- 8 : 不織布ネット(やしの実纖維)
- 9 : " (わたくす+ビニルネット)
- 10 : わらくす+薄紙
- 11 : わらむしろ
- 12 : 不織布ネット(わら)

図 - 5.1.0 市販材料の乾燥防止効果

5章 緑化工法

この試験結果は、遮光率が高くなるほど蒸発防止効果が大きくなることを示している。また、遮光率が20～30%以下の場合、被覆しても、蒸発量は約20%減少するだけで効果は少ない。しかし、遮光率が約90%以上のもので被覆すると、蒸発量はほぼ半分に減り、効果はかなり期待できる。しかし、蒸発防止効果を高めようとして遮光率を高くすると、発芽障害を引き起す恐れがある。したがって、発芽障害が少なく、かつ乾燥防止効果が得られる被覆材としてわらむしろを用いる場合にはその織り方は、縦に短かく横に長い極端な長方形の網目が良い。



植生袋によるヨモギの発芽（栃木県足尾鉱山）

さらに、瀬戸内海型の温暖小雨地域では、山肌に降った雨をできるだけ保持するため、図-5.1.1、図-5.1.2に示すような拡水溝が有効である。拡水溝は10m間隔に幅0.5m、深さ0.5mの素掘りの溝を設ける。溝には水が必ず溜まるように水平に施工する。溝を長く水平にできない場合は、仕切りを入れるか段違いにし、水が流出しないようにする。急斜面に施工する場合には、土留鋼板などを付設して斜面崩壊を防止する。

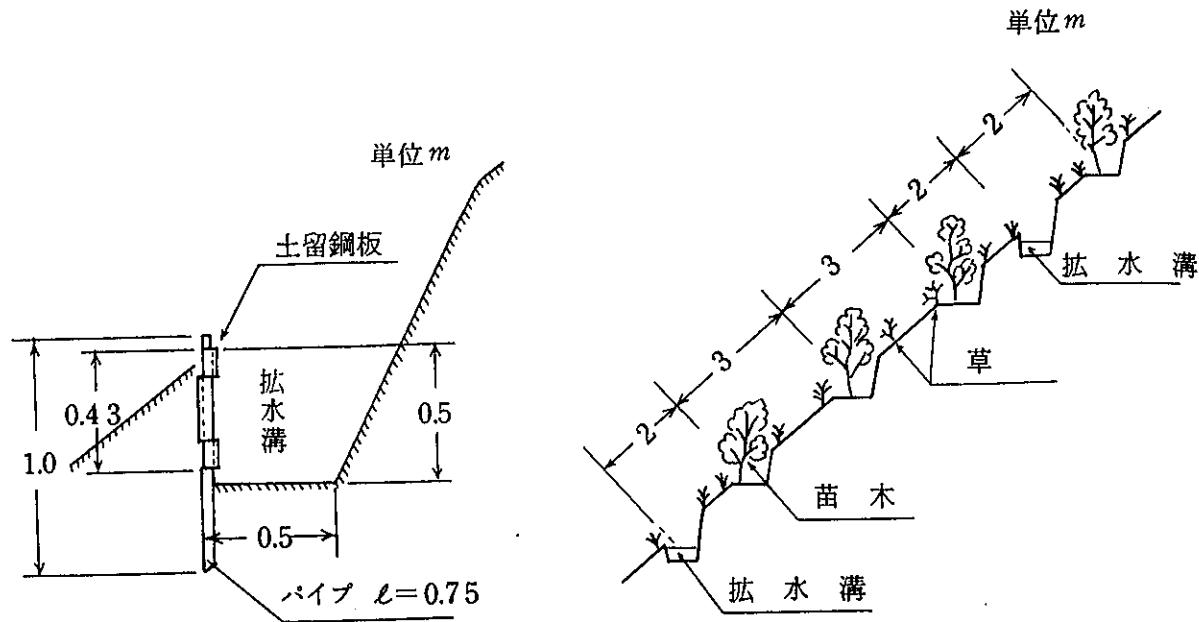


図-5.11 拡水溝の例

図-5.12 拡水溝を設けた緑化工断面例

b. 積雪対策

積雪地での長い斜面はベンチ状にする。ベンチ幅と高さの関係は1:5~7とし、この場合のベンチ幅は積雪深度程度とする。ベンチ幅は1~2m、高さ5~15mが広く用いられる。²⁾

のり面上部から融雪水などが多量に流入する場所には、のり肩排水工、山腹排水路を設ける。また全体の地形やのり面の形が凹状の箇所（春先浸透水や湧水の見られる箇所）には、のり肩排水工、斜面内排水工（開渠、暗渠排水工）を設ける。

なお、強風地帯の風下面には吹雪による吹溜りができることが多い。このような斜面の上縁には土壘を築き、積雪の拡散を図ることが望ましい。

c. 寒冷地対策²¹⁾

山間部では道路や河川が風の通路となるので、寒風害が起りやすい。対策としては保温・防風をわら掛け、わら垣などで行う。一方、道路や沢筋の場合は風が弱い日でも夜間は冷気の流れ込む霜道となり、凹地部があれば、冷気は残留し霜穴を形成する。この場合の対応も寒風対策と同様でよく、特に垣状のもの

5章 緑化工法

で霜道を変え、その内側に植栽することが望ましい。

霜柱は、関東ロームのような微粒子土壤で、かつ均一性の土壤の場合に、発生しやすい。また、凍上は、地温が 0°C から -4°C 位になると土壤凍結が始まり、 -10°C 以下ともなると深さは急速に進む。なお、雪は断熱効果が大きいため保温効果があり、 30 cm 以上の根雪があれば凍結はほとんど起らない。しかし、融けたり積ったりする地域では、根雪が約 20 cm でも凍結層は厚くなる。特に、ローム層を形成する赤土や黒土の場合発生しやすい。対策としては、わらなどで根元を被覆するマルチングなどの方法がある。マルチングにビニールなどを使用した場合は、4～5月頃除去する必要がある。この際の目串長は $30\sim60\text{ cm}$ 必要である。

なお、凍上地帶では、金網張工、金網丸太枠工が有効である。

また、石灰石採掘跡地の緑化に際し、霜による凍死、根の浮き上り、及び種子の流亡などを防止するため、地表面に播種後石積み（大きさはこぶし大2段積み）を施工したところ、凍上による害を防ぐことができた試験結果²²⁾もある。この工法は礫被覆工として、金属鉱業事業団で以前から試験し種々の効果を確認しており、詳細については後述する。

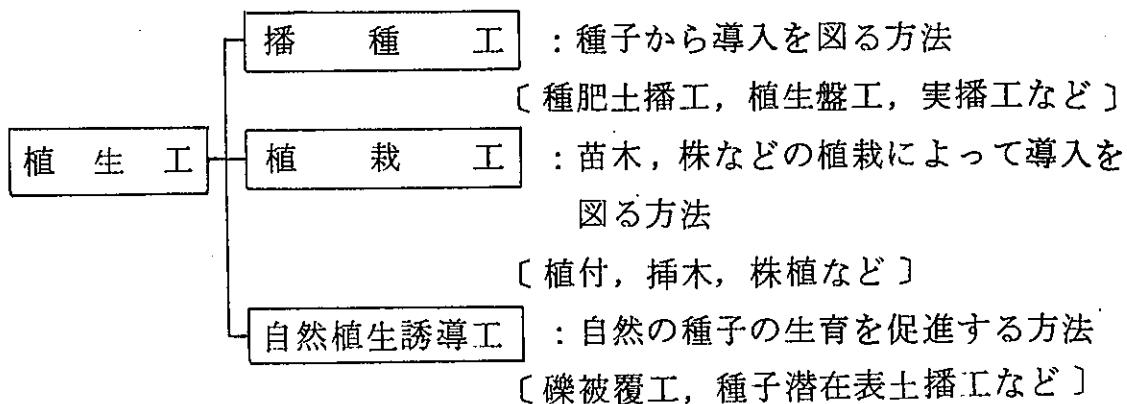
5・3 植生工

たい積場における植生工とは、緑化しようとする植物を播種したり植付けたり、また、自然の生態遷移を促進したりする工法である。

植生工の役割りは、施工当初における植物の発芽・生育条件を改善することにあるが、その改善範囲には限界がある。植生工の適用に当たっては、前記の緑化基礎工によって生育に適するように基盤が改善・整備されていることが前提になる。

植生を導入する手法・工法には、これまで種々の方法が開発されているが、次のように大別される。

5章 緑化工法



採用する植生工は、次の条件を満たす必要がある。

- ① 導入植物の発芽・生長を助けるものでなければならない。植物が発芽し生長する条件は、植物の種類によって異なる。したがって植生工を選択する場合、まず導入しようとする植物の発芽・生長条件を調べ、それに適した工法を選択する必要がある。
- ② 施工時期や施工地の気象条件に適した種類のものでなければならない。
- ③ 土壤条件に適応したものでなければならない。

5・3・1 播種工

播種工の特徴は、次のとおりである。⁹⁾

- ① 広い面積を短期間に緑化復元するのに適する。
- ② 短期間に地表面を被覆できるので、表層土壤の保全上有効である。
- ③ 繁殖材料の入手、貯蔵、運搬が容易である。また、施工も比較的容易である。

現在、施工されている播種工は種類が極めて多く、その性能も多種多様である。これらの播種工については性能による分類と施工時の形状（筋、点、面など）や施工方法（人力、機械など）などによる分類がある。

ここでは、緑化対象地を土壤条件と傾斜などの土地条件で分類し、これらに適した工法をあてはめると、次のようになる。⁵⁾

(1) 比較的肥沃地（覆土・施肥などの緑化基礎工を施工した場合も含む）、平坦地、緩傾地

- ① 点播工、坪播工、巢播工
- ② 筋播工、水溶性資材を用いた植生帯、実播筋工

5章 緑化工法

- ③ 種子散布工(ハイドロシーダによる種子吹付工), 手播, ばら播
- ④ ドリル播工(肥料, 種子を穴に播く)

(2) 緩傾地, 盛土

- ① 植生帶工(種肥付帶)
- ② 種肥付むしろ坪張り工, 植生マット坪張り工
- ③ 種肥付むしろ帶状張り工
- ④ 種子散布工

(3) 無土壤, やせ土

- ① 植生盤工
- ② 表層客土吹付工, 植生盤全面張り工
- ③ 植生袋ちどり張り工
- ④ 植生袋筋工
- ⑤ 蛇かご厚層客土階段施工

(4) 急斜地, 無土壤

- ① 埋設ネット工+厚層客土吹付工
- ② 表層客土吹付工(ガン使用)厚さ2~10cm
- ③ 植生盤全面張り工
- ④ 枠工+客土+種子散布工
- ⑤ 溝掘り客土+客土吹付工
- ⑥ セメントを用いない厚層客土吹付工

(5) 硬質土

- ① 削孔+客土吹付工
- ② 溝切り, 小段切り+客土吹付工

(6) 乾燥地

- ① 溝掘り+筋播工, 階段切り+播種工
- ② 削孔+手播, 実播工

(7) 寒冷, 凍上, 霜柱地

- ① 植生穴工+被覆ネット工
- ② 種肥付むしろ張り工
- ③ 植生マット工

5章 緑化工法

- ④ 斜面混播工
- ⑤ 粗朶伏工, わら伏工
- ⑥ 種子吹付工 + ストローマッチ

実際には、たい積場の土壤、土地条件に適した工法を、上記の直播き、種子吹付工法、植生盤、植生袋、植生穴工などから選び、単独又は組み合わせて施工することになる。その場合、留意すべき点は、傾斜地など侵食の恐れの大きい場所では面状に施工する播種工を選ぶことである。また、平坦地のような侵食の恐れの少ない場所では、筋播、点播、巢播とする。この場合、むしろ間隔を広くとり、自然の生態遷移の進行が容易になるように配慮する。

a. 種子と発芽⁵⁾

播いた種子が発芽し生長するためには、表土部分が動かないこと、発芽に十分な水分が保持されていること、土中に酸素が適当に供給されることが必要である。ちなみに付言すれば、播いた種子が発芽しない主な原因は枯死と菌害である。しかし、次のような場合にも発芽が抑制されることがある。

- ① 多湿、高温、通風の悪い場所での貯蔵
- ② 発芽率が低い種子（硬実種子、休眠種子※）
- ③ 播いた後での乾燥（被覆工の欠除、薄すぎる覆土※※）
- ④ 発芽に不適な低温期の播付け※※※）
- ⑤ 土が硬すぎるなどによる酸素や水の不足
- ⑥ 厚すぎる覆土
- ⑦ 急斜地での雨、流下水による流亡
- ⑧ 鳥や昆虫による食害

※ 発芽率を良くする対策としては、傷付、薬剤、変温度処理がある。

※※ 被覆土の厚さは一般には、6~12mmが好適とされているが、ライグラス類、オーチャードグラス、ケンタッキー31フェスク、クリーピングレッドフェスク及び木本類の大粒種子は3cm程度である。

※※※ 一般的に10℃以上がよい。

b. 播種量

草本類で面状に緑化する場合、一般に播種量はm²当たり10~20gが普通で

5章 緑化工法

ある。少なくとも5~8gが最低量とされている。

侵食がそれほど起こらない牧草畠の条播きでは、1~3gである。緑化工に際し、有機質肥料を使い、かつ施工直後から、種子や表土の流出防止工法を実施する場合は少量の種子で良い。

播種工で、比較的肥沃な土に多量に播種した結果、繁茂しすぎて、周辺から飛来する在来植物の種子が発芽、生長できず、生態遷移を阻害する場合がある。したがって、侵食の恐れの少ない平坦地とか緩傾斜地では、播種量を少なくし、地表面が播種した植物で厚く被覆されないように留意する。

一般に行われている播種量の計算は、通常m²当たりの成立本数を5,000~10,000本とし、種子の発芽率や純度（相乗したもの有効率という）を考慮し、次の計算式を用いて求める。

$$W = \frac{G}{S \times P \times B}$$

W : 1m²当たりの播種量(g)

G : 1m²当たりの希望発芽本数(本)

S : 種子1g当たりの平均粒数(粒/g)

P : 純度(%)

B : 発芽率(%)

参考までに、金属鉱業事業団が行った牧草播種試験に於ける播種量を表-5.36に示す。

c. 播種期

播種の施工時期は植物の発芽、生長に大きな影響を及ぼし、緑化施工の成否を左右する。したがって、施工は導入植物の生長適期に行うことが望ましい。その理由は、植物が生長停止期までに十分生長して、侵食や乾燥などに対する抵抗力をもつことが必要なためである。

牧草類には春播き型と秋播き型があり、冬期はもとより、6月下旬~8月中旬頃は避けるのが普通である。春播きの施工適期は温暖で、雨の多い春先きから入梅頃である。一方、砂質土のような乾き易いところでは、雨期に施工し、一挙に発芽させるとよい。また、霜柱の立つ地方では、初霜をみるまでに植物が霜柱に耐えるまでに生長していることが必要である。（施工後、草丈が約8

5章 緑化工法

cmになつていればよい)

表-5.3.6 たい積場における牧草播種試験(播種量について)²⁷⁾

鉱山名	播種 牧草	播種量 (g/m^2)	1kg 当り粒数
松 尾	ケンタッキー 31 フェスク 単播	3	400
	ウィーピングラブグラス 単播	3	3,000
	チモシー 単播	3	2,500
	3種・混播 ケンタッキー 31 フェスク	3	
	3種・混播 ウィーピングラブグラス	3	
	3種・混播 チモシー	3	
大正西又	ケンタッキー 31 フェスク 単播	22.7	
	ウィーピングラブグラス 単播	8.3~8.5	
	クリーピングレッドフェスク 単播	10.1	970
	3種・混播 ケンタッキー 31 フェスク	22.7	
	3種・混播 ウィーピングラブグラス	8.3	
	3種・混播 クリーピングレッドフェスク	10.1	
小杉沢	ケンタッキー 31 フェスク 単播	6	
	ウィーピングラブグラス 単播	8	
	2種・混播 ケンタッキー 31 フェスク	6	
	2種・混播 ウィーピングラブグラス	8	
与内畑	ケンタッキー 31 フェスク 単播	22	
	ウィーピングラブグラス 単播	8.5	
	4種・混播 ケンタッキー 31 フェスク	22	
	4種・混播 ウィーピングラブグラス	8.5	
	4種・混播 クリーピングレッドフェスク	10	
	4種・混播 ケンタッキーブルーグラス	7	4,300
妙法	ケンタッキー 31 フェスク 単播	20	
	ケンタッキー 31 フェスク 単播	5	
	3種・混播 ケンタッキー 31 フェスク	7	
	3種・混播 ウィーピングラブグラス	1.7	
	3種・混播 クリーピングレッドフェスク	8	

5章 緑化工法

一般に夏播きして失敗するのは、高温のためではなく、むしろ乾燥害や高温過湿による立枯病が原因になる場合が多い。対策としては、水分を補給するか、又は乾燥防止用被覆をする。被覆材としては、わらむしろ（うすべり）が効果的である。それは同時に、種子の流亡防止、及び侵食防止効果を兼ねている。

平均気温からみた施工適期を図-5.1.3に示す。これは一般的なもので、特殊な環境、条件の場合は多少の変動がある。本図の区域内でも標高の高いところでは、寒冷地の適期に準ずる。また、積雪地方で降雪期の直前に施工して、翌年発芽させ、好成績を得た例もあり、あるいは高温で乾燥する真夏に施工して、8月下旬～9月の多雨期に発芽させる例もあるが、天候に大きく左右される不確実な時期はできるかぎり避けることが望ましい。

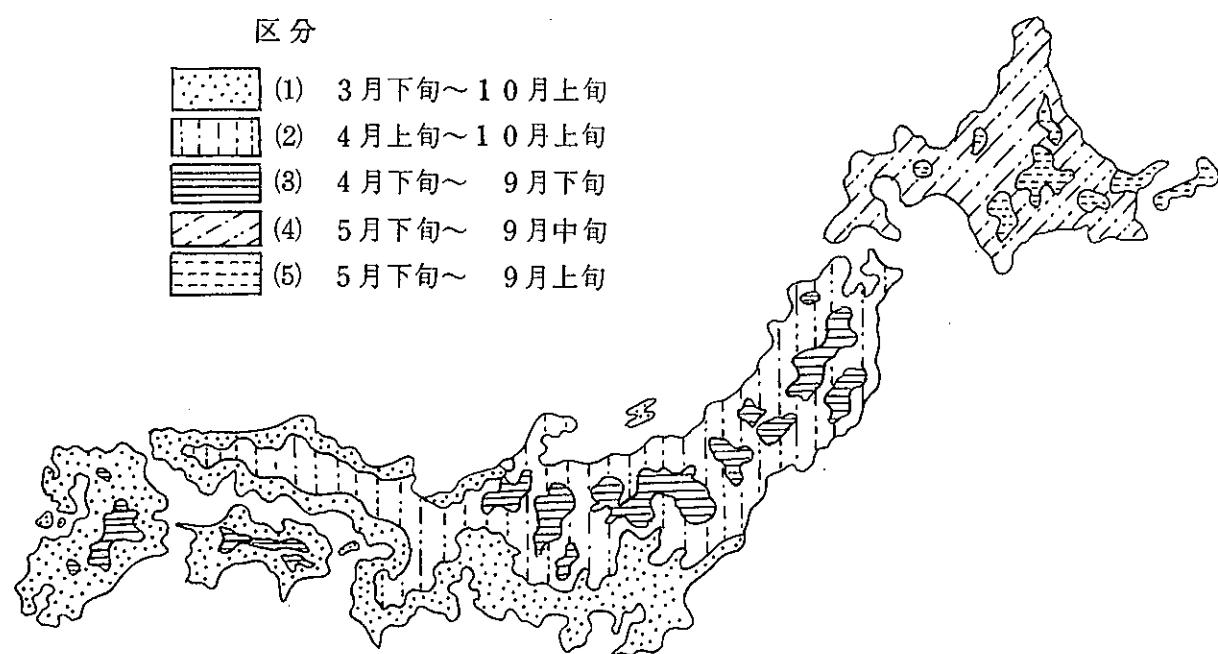


図-5.1.3 平均気温からみた施工適期(堀江)¹⁹⁾

牧草の播種時期を表-5.3.7及び表-5.3.8に示す。耐寒性の強いケンタッキー31フェスク、クリーピングレッドフェスクなどは、霜柱などによる乾燥を防止すれば、冬期間の播種が可能である。

なお、参考までに我が国各地の気温と降水量を表-5.3.9に示す。

5章 緑化工法

表-5.3.7 外来種の草本類の播種時期²³⁾

種子名	播種時期	
	春播き	秋播き
ウィーピングラブグラス	4~6月	-
ケンタッキー31フェスク	3~5月	9~10月
クリーピングレッドフェスク	3~4月	9~10月
レッドトップ	3~4月	9~11月
チモシー	3~4月	9~11月
オーチャードグラス	4~5月	9~10月
ペレニアルライグラス	3~4月	9~10月
ケンタッキーブルーグラス	3~5月	9~10月
チューリングフェスク	3~5月	9~10月
バーミューダグラス	4~6月	-
ハイランドベントグラス	4~5月	9~10月
シーサイドベントグラス	4~5月	9~10月
ペンクロスベントグラス	4~5月	9~10月
ホワイトクローバー	3~5月	9~10月
レッドクローバー	3~5月	9~10月
レスペデザ	4~6月	-
ダイカンドラ	3~5月	9~10月

5章 緑化工法

表-5.3.8 草本の種類と施工時期¹⁹⁾

種類	施工時期（日平均気温℃）		
	適期	可能期	不適期
ウィーピングラブグラス	(春) 15~25	(春) 10~15 (夏) 25以上 (秋) 25~20	(春) 10以下 (秋冬) 20以下
ケンタッキー31フェスク クリーピングレッドフェスク ケンタッキーブルーグラス オーチャードグラス レッドトップ ライグラス ホワイトクローバー	(春) 10~20 (秋) 25~15	(春) 5~10 (春) 20~25 (冬) 5以下	(春夏) 25以上 (秋) 15~5
ノシバ コウライシバ	(春) 15~25	(春) 15~25 (秋) 25~15	(春) 10以下 (夏) 25以上 (秋冬) 15以下
バーミューダグラス	(春夏) 20~30	(春) 15~20 (夏) 30以上 (冬) 20~15	

金属鉱業事業団が青森県下北半島にある大正西又鉱山のたい積場で行った牧草の播種時期が生育に与える影響調査結果を表-5.4.0に示す。

(過去30年間平均)

表-5.3.9 我が国各地の月別気温と降水量

地名	摘要	月別気温と降水量											年間量	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
鹿児島	気温(℃) 降水量(mm)	6.6 75	7.7 116	10.8 149	15.1 228	19.0 249	22.6 454	26.8 343	27.1 220	24.4 213	18.9 120	14.0 90	9.0 79	16.8 79
福岡	気温(℃) 降水量(mm)	5.1 69	5.7 83	8.7 98	13.5 129	17.8 127	21.7 270	26.3 253	26.8 171	22.8 244	16.9 102	12.2 80	7.6 78	15.4 78
大阪	気温(℃) 降水量(mm)	4.5 43	4.9 58	8.0 96	13.6 127	18.3 122	22.3 193	26.6 177	27.8 118	23.7 171	17.4 122	11.9 81	7.0 52	15.5 52
名古屋	気温(℃) 降水量(mm)	2.9 49	3.6 64	7.1 100	12.7 137	17.5 145	21.5 204	25.7 178	26.6 155	22.7 212	16.5 160	10.9 86	5.6 57	14.4 57
東京	気温(℃) 降水量(mm)	3.7 48	4.3 73	7.6 101	13.1 135	17.6 131	21.1 182	25.1 146	26.4 147	22.8 217	16.7 220	11.3 101	6.1 61	14.7 14.7
新潟	気温(℃) 降水量(mm)	1.7 194	1.8 126	4.8 121	10.2 104	15.3 95	19.9 127	24.1 193	25.8 107	21.4 177	15.5 165	9.8 171	4.7 264	12.9 12.9
仙台	気温(℃) 降水量(mm)	0.1 37	0.6 44	3.5 62	9.0 95	13.9 100	17.8 155	22.0 167	23.8 136	19.8 191	13.8 133	8.2 61	2.9 50	11.3 50
秋田	気温(℃) 降水量(mm)	-1.1 123	-0.8 102	2.2 107	6.7 128	13.4 119	18.3 138	22.5 190	24.2 164	19.3 205	13.0 176	7.1 179	1.7 158	10.7 158
青森	気温(℃) 降水量(mm)	-2.7 135	-2.2 108	0.4 73	6.7 69	12.3 67	16.2 78	20.4 112	22.3 139	18.0 148	11.9 110	6.0 121	0.2 144	9.1 144
札幌	気温(℃) 降水量(mm)	-5.5 103	-4.7 78	-1.0 65	5.7 59	11.3 59	15.5 95	20.0 112	21.7 138	16.8 119	10.4 125	3.6 107	2.6 107	7.6 107

5章 緑化工法

表 - 5.4.0 たい積場における牧草の播種時期と生育の関係(大正西又鉱山)²⁷⁾

播種方法：種子吹付

播種時期	覆土の有無	播種3カ月後の生育状況			
		W L G の単播		3種(WLG, K31F, CRF)の混播	
		被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
5月下旬	覆土厚さ20cm	100	80	100	80
	覆土なし	40	45	40	45
7月下旬	覆土厚さ20cm	85	25	85	25
	覆土なし	25	5	25	5

この結果、播種適期から外れた7月下旬に播種した牧草の生育状況は、被度、草丈ともに劣った。この傾向は覆土をしない場合、特に顕著であった。

d. 混播⁵⁾

混播は、草本類のみの混播及び草本類と木本類の混播に分けられる。確実に緑化工を完成させるため、混播が普及している。

(i) 草本類の混播

以下に特徴を述べる。

① 乾燥に弱い草本と逆に強い草本とを混播すると、播いてから発芽し生長する期間中、日照りや長雨に会っても、それぞれ適応性の強い草本がよく耐えて、緑化を失敗させないですむ。

② 土地がやせている場合、マメ科の草本類を混播すると、根粒菌の働きで空中窒素が固定され、生長が促進される。

③ 寒さ、日照り、病虫害に強いイネ科植物と②で述べたマメ科の草本類の混播は、相互補完の利点がある。

④ 根の深い草本類と逆に根の浅い草本類、また、草丈の高い草本と低い草本との混播は、土壤を保全する上で好ましい。

⑤ 混播する草本の組合せや播種量を誤ると、かえって生育を悪くし、場合によっては共倒れになる恐れがある。したがって、事前に植物の性質を調べておくことが必要である。

(ii) 木本類と草本類の混播

木本類は一般に発芽、初期生長が草本類に比べて遅いため、生長の早い草本類に被圧されて枯死する場合が多い。木本類と草本類の混播を可能にするため、木本類の初期生長の特性を次のように区分して、生長をコントロールする方法が開発された。

① 草本類と同じような初期生長をする木本類……草本類と混播しても共存が可能である。

(ニセアカシア、イタチハギ、エニシダなど)

② 初期生長は比較的遅いが播種翌年の生長量のよい木本類……草本との混播率や、施肥量の調整によって両立の可能性が大きい。

(ヤマハンノキ、ヤシャブシ、ヤマハギなど)

③ 初期生長が遅く、草丈以上になるのに数年を要する木本類……播種割合、施工後の保護管理を十分に行う。

④ 過密にならぬよう播種量を減らす。

(1,000~2,000粒/m²以下)

⑤ 草本と木本の播く場所、範囲を別々にする。

⑥ 幼苗のうち立枯病に弱い種類の木本類(特に肥料木など)は、過湿状態では菌害によって枯死を招きやすい。また、窒素過多からくる立枯病菌の害に留意する。

以上のように木本類と草本類の混播は、両者の生育型の違いから、播種量を減らすとか、草本類の生育を抑制する必要がある。したがって、早期緑化や表面侵食防止の点で多少問題がある。

なお、参考に生育型による混播の組合せ例を、表-5.4.1に示す。

e. 播種による緑化試験例(金属鉱業事業団)

金属鉱業事業団が、昭和51年~昭和57年の間、松尾、大正西又、小杉沢、与内畠、妙法の各鉱山のたい積場において、各種の播種試験を行った。参考として、試験結果を次に示す。

5章 緑化工法

表-5.4.1 生育型による混播の組合せ例(堀江)¹⁹⁾

		A	B	C	D
木本類の タイプ		・発芽が2～3日で完了する。 ・生長が旺盛で、当年の生長量が0.5～1.0mにもなる。 ニセアカシア、イタチハギ、エニシダなど	・発芽がやや遅く、初期生長量が緩慢であるが、以後の生長が早い。 オオバヤシャブシ、ヤマハノキ、グミ類など	・やせ地、荒廃地に初期に侵入生育する種類、生育特徴がまだ十分検討されていない。 クサギ、ヌルデ、リョウブ、タニウツギ、ウツギなど	・永続性が優れている種類であるが、発芽初期生育が遅い。 アカマツ、クロマツ、コナラ、クヌギなど
A	・大型多年生草本 A-1) 初期生育の早い種類(ヨモギ類など) A-2) 大型イネ科植物(ススキ、トダシバなど)	◎ → ○ ◎ → ○	△ △	△ → × △ → ×	△ ○
B	・中型イネ科植物 B-1) 発芽・生育とも早い、分けつ叢生する種類(WLG, K31F) B-2) 発芽、初期生育遅いイネ科(ノガリヤス、チカラシバ) B-3) 草丈の短い叢生植物(CRF, KBG) B-4) 発芽生育とも早い1年生植物(IRG, オヒシバ、メヒシバ)	◎ → ○ ◎ → ○ ◎ ◎ → ○	△ △ ○ △	△ → × △ → × ○ → △ △ → ×	△ △ ○ △
C	・小型草本 C-1) 発芽の遅い小型イネ科(シバ、ギョウギシバ) C-2) 発芽・生育の早いマメ科(クロバー、ヤハズソウ)	◎ → ○ ◎ → ○	△ △	△ △	△ △

(注) 技術的には検討中のものが多い。◎→○印は木本の成立可能性は大きい。△→×は成立に困難な面が多い。

5章 緑化工法

(i) 松尾鉱山のたい積場における在来草本類の播種試験

寒冷・積雪地である松尾鉱山の緑化工の研究のため、周辺で採取した種子を播種し、生育状況を調査した。調査結果を表-5.4.2に示す。

表-5.4.2 たい積場周辺で採取した在来種の草本類
種子の播種試験(松尾鉱山)²⁷⁾

播種時期：ヒメスゲ、コメススキは7月下旬

オオイタドリは5月下旬と9月下旬

土 壤 条 件	草本の種類	播種1年後の生育状況		播種2年後の生育状況	
		被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
消化汚泥混入	コメススキ	25	3	35	5
	ヒメスゲ	25	3	60	3
	オオイタドリ	+	0.5	+	7
石灰混入	コメススキ	2	1	2	2
	ヒメスゲ	0	0	5	1
	オオイタドリ	2	0.8	0	0
覆土施工	コメススキ	7	1	20	2
	ヒメスゲ	20	1.5	25	2
	オオイタドリ	10	1.5	3	6
たい積物そのまま	コメススキ	0	0	3	2
	ヒメスゲ	4	1	8	2
	オオイタドリ	6	1	0	0

発芽時期：コメススキは播種を行った年に発芽した。ヒメスゲ、オオイタドリは播種を行った翌年の融雪時に発芽した。

生育状況：被度が比較的高いものは、ヒメスゲとコメススキであり、消化汚泥混入、覆土施工により成績が向上した。

(ii) たい積場の牧草試験

松尾、大正西又、小杉沢、与内畠、妙法の5鉱山のたい積場において、牧草の播種、生育調査を行った結果は次のようであった。

5章 緑化工法

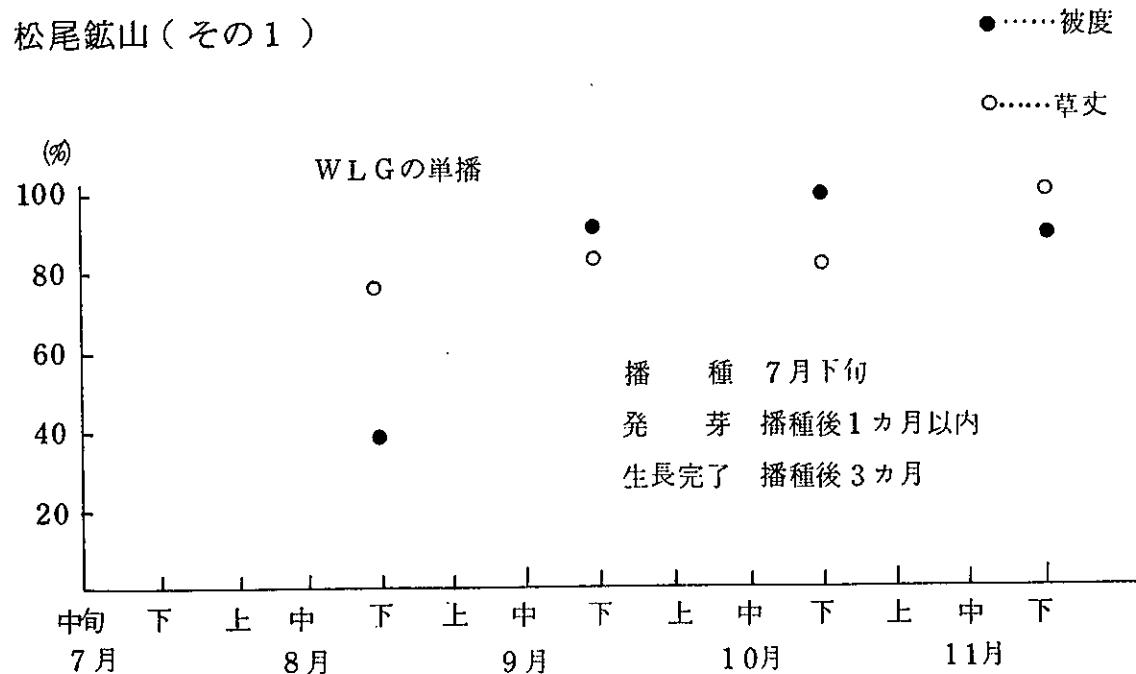
(1) 牧草の播種時期と成長度との関係

発芽は播種後1カ月以内、生長完了は播種後3カ月であり、播種時期の選定に当たって、生長可能な期間が3カ月以上になるようにしなければならない。また、夏季の乾燥期に播種した場合には、乾燥に弱い植物は発芽生長が遅れることがあった。

なお、播種後1カ月経過しても発芽せず、さらに播種後3カ月経過しても生長が不十分な時には手直しを検討しなければならないと考えられる。図-5.14に鉱山別、牧草別の生育状況を記載する。図中の被度及び草丈は最大時を100としたときの割合を表わしている。

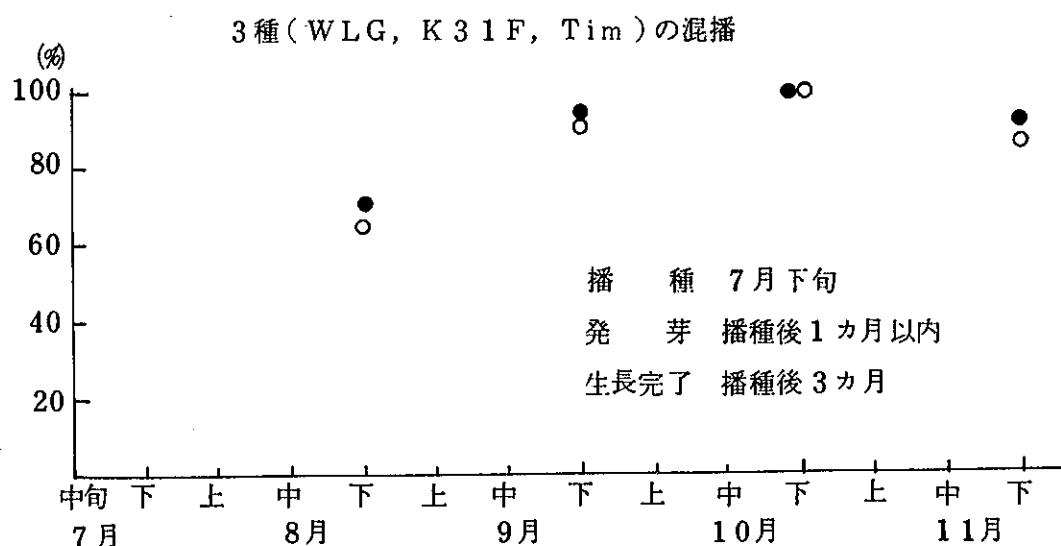
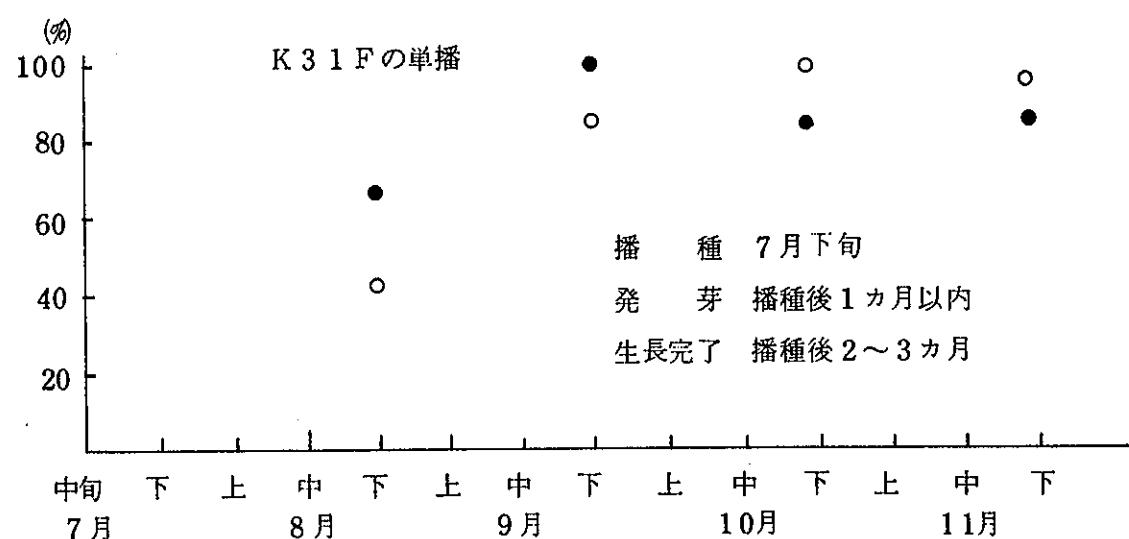
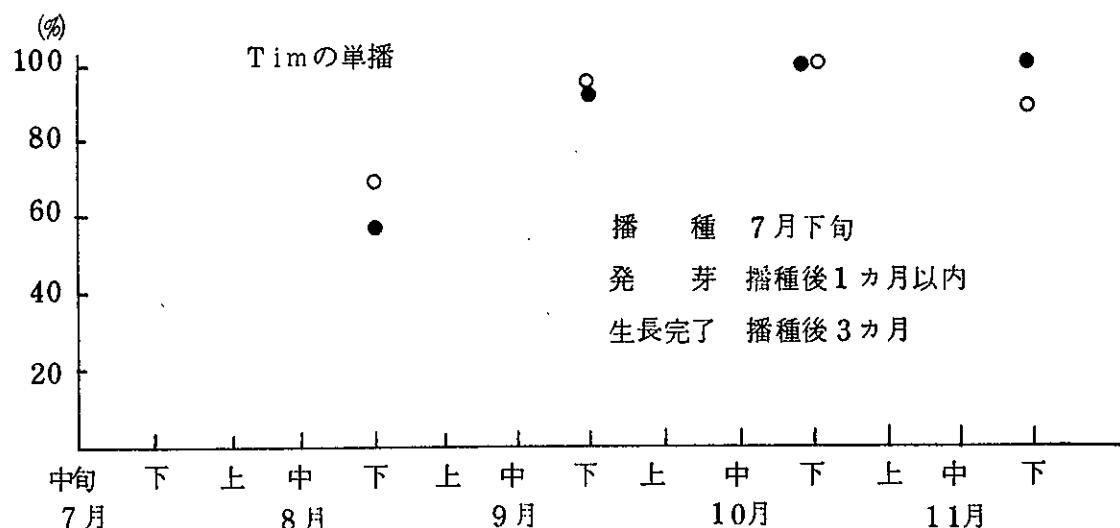
図-5.14 鉱山別・牧草別の生育状況²⁷⁾

松尾鉱山(その1)



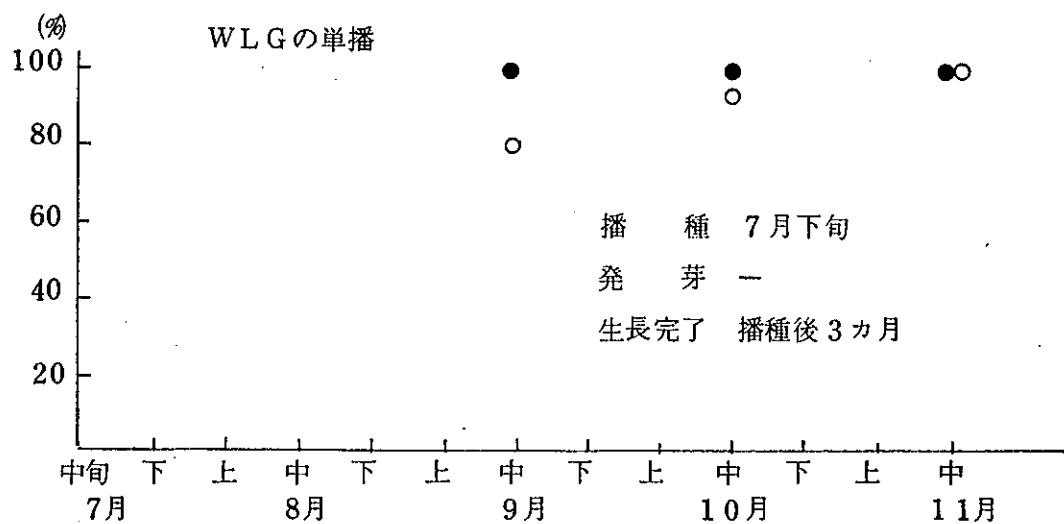
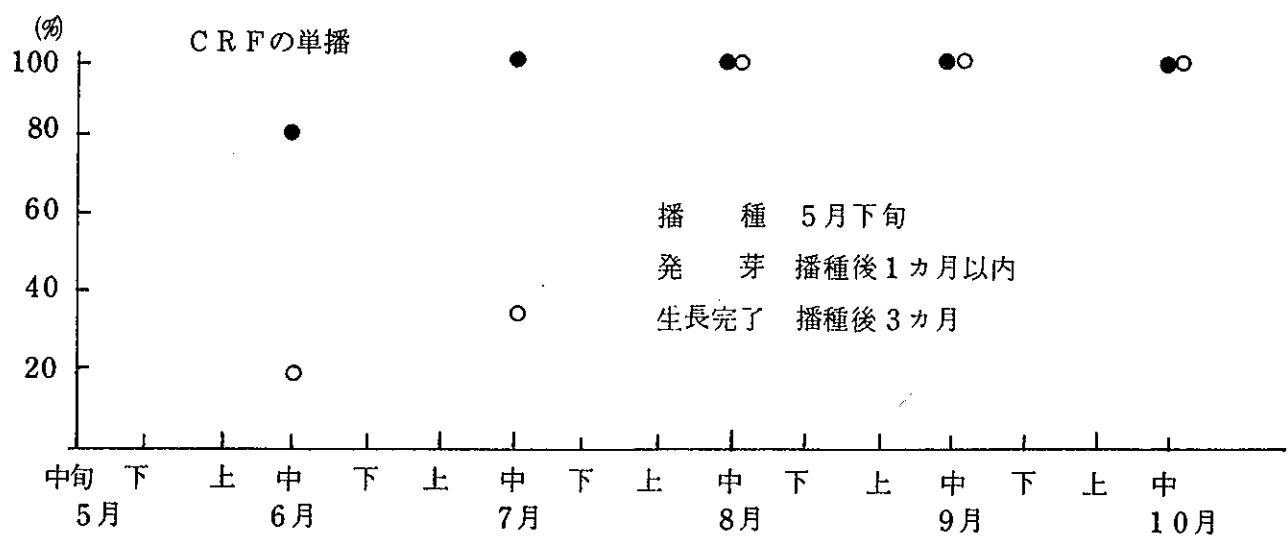
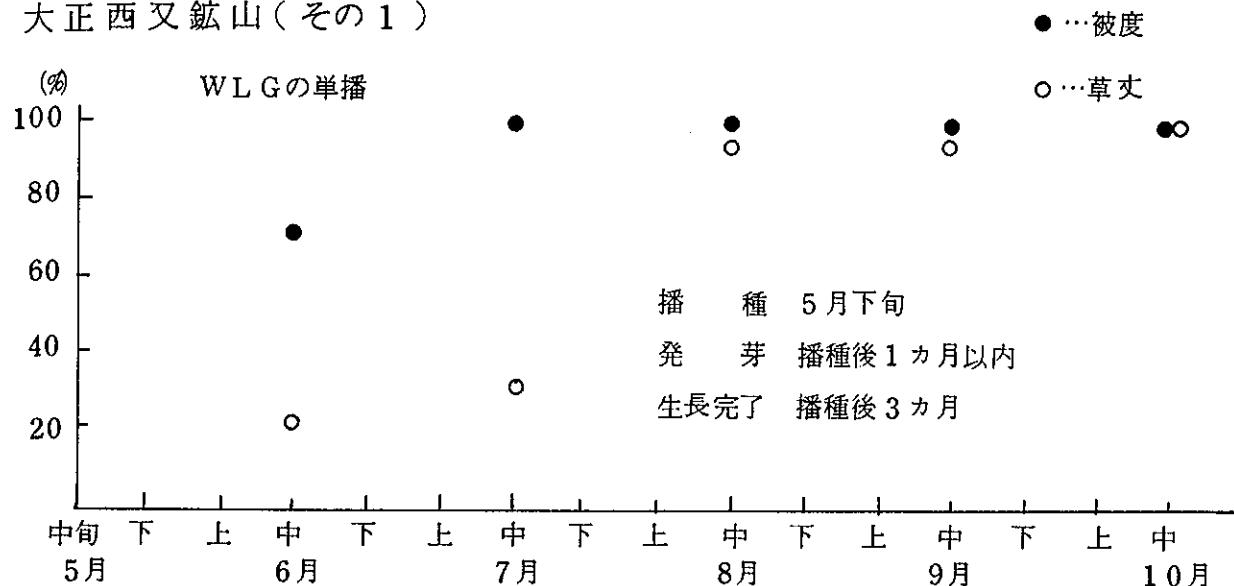
5章 緑 化 工 法

松 尾 鉱 山(その2)



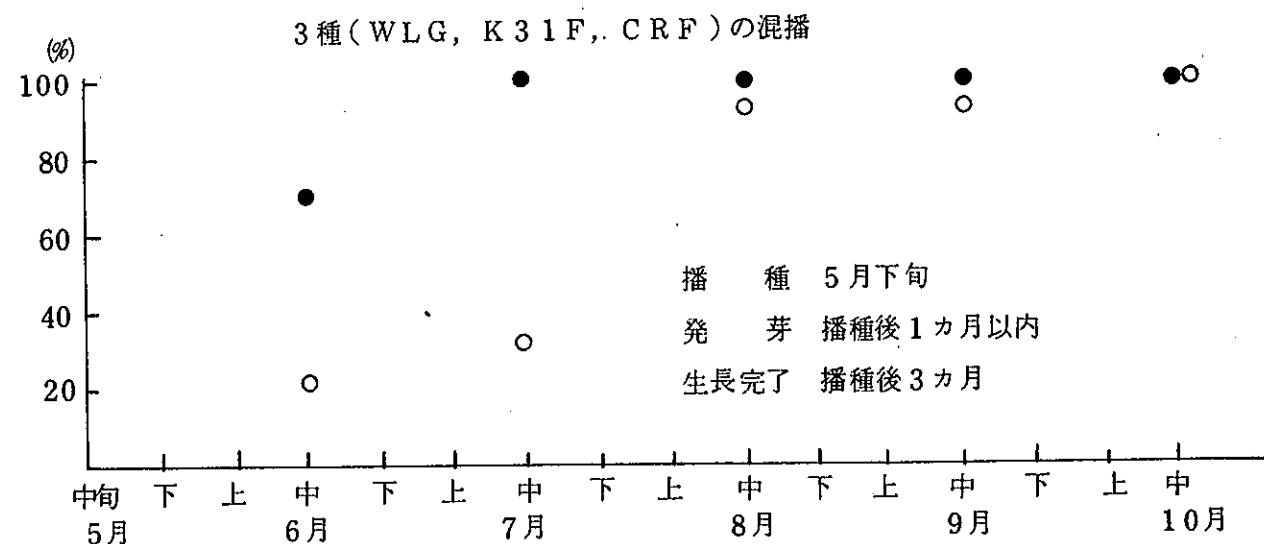
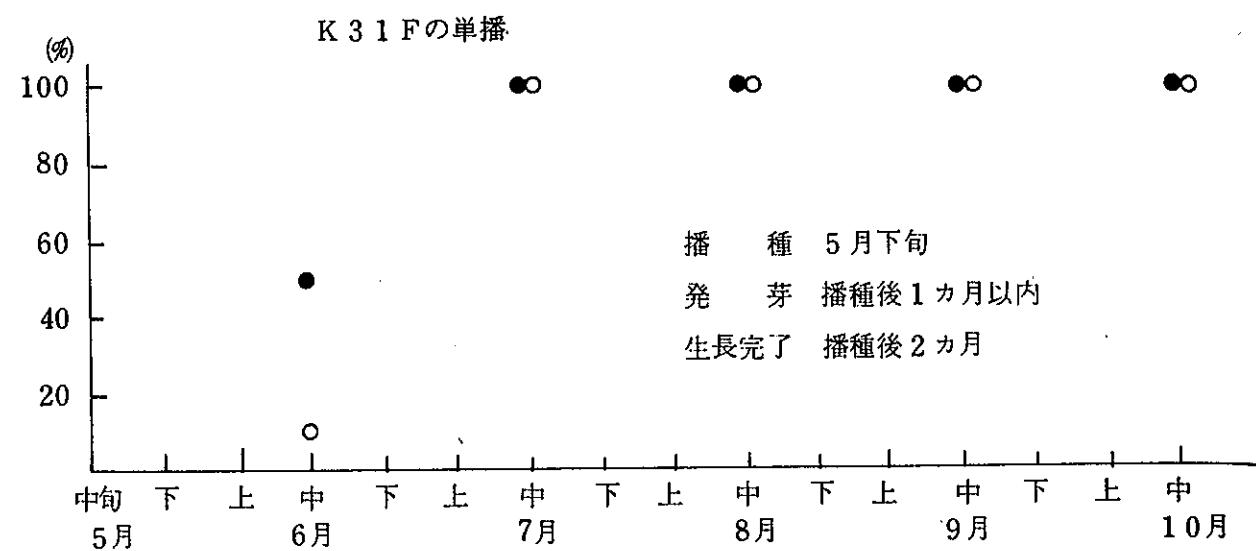
5章 緑化工法

大正西又鉱山(その1)



5章 緑化工法

大正酉又鉱山(その2)

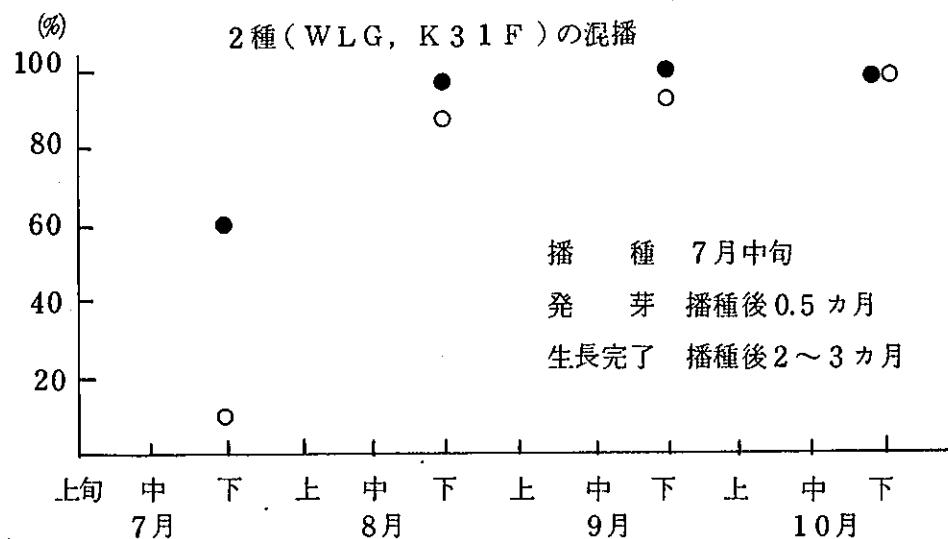
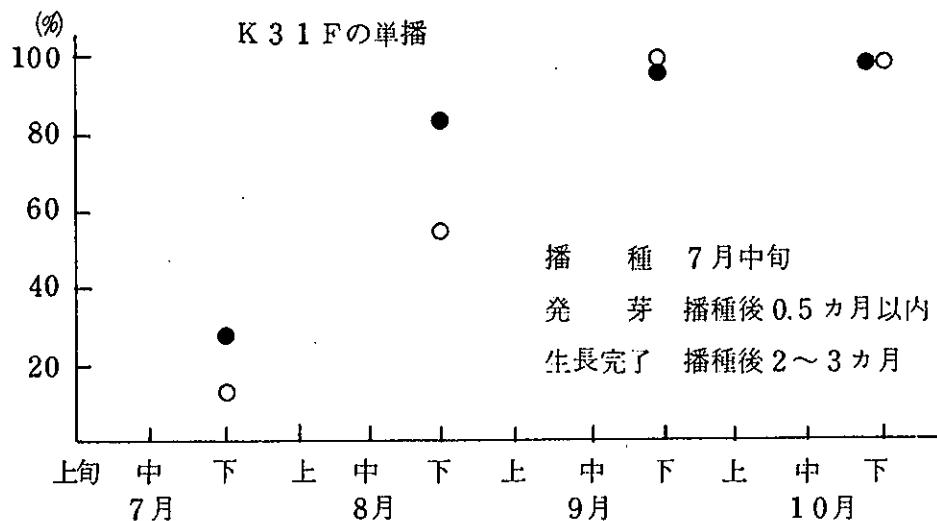
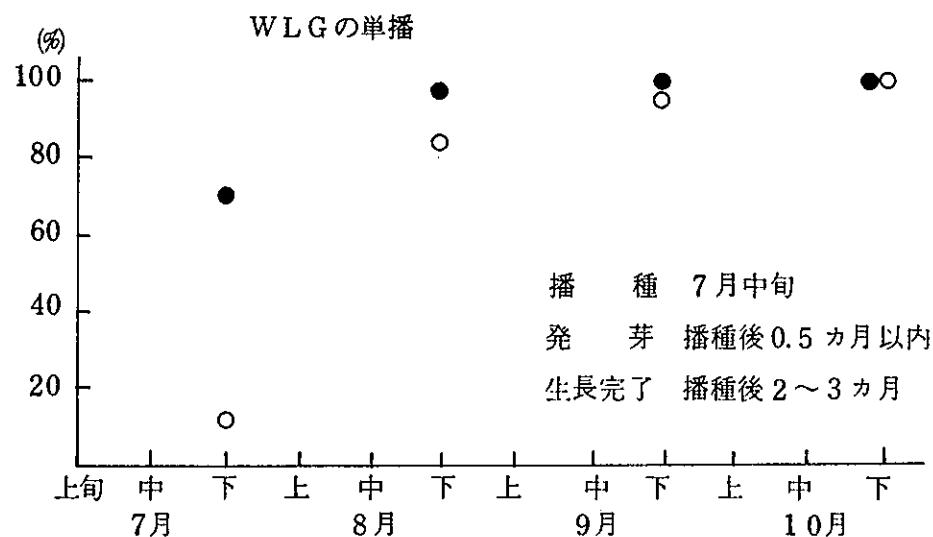


5章 緑化工法

小杉沢鉱山

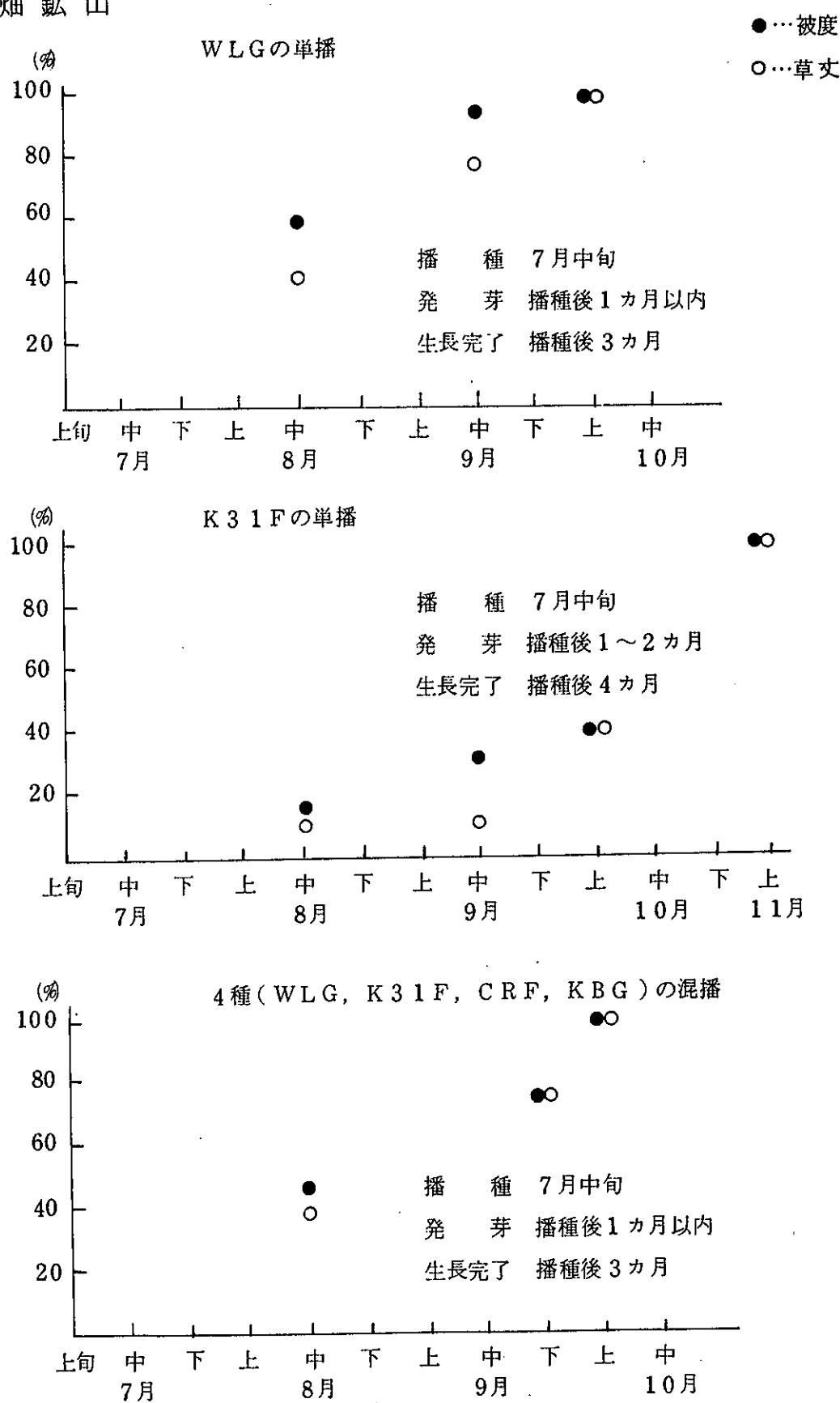
●…被度

○…草丈



5章 緑化工法

与内畠鉱山

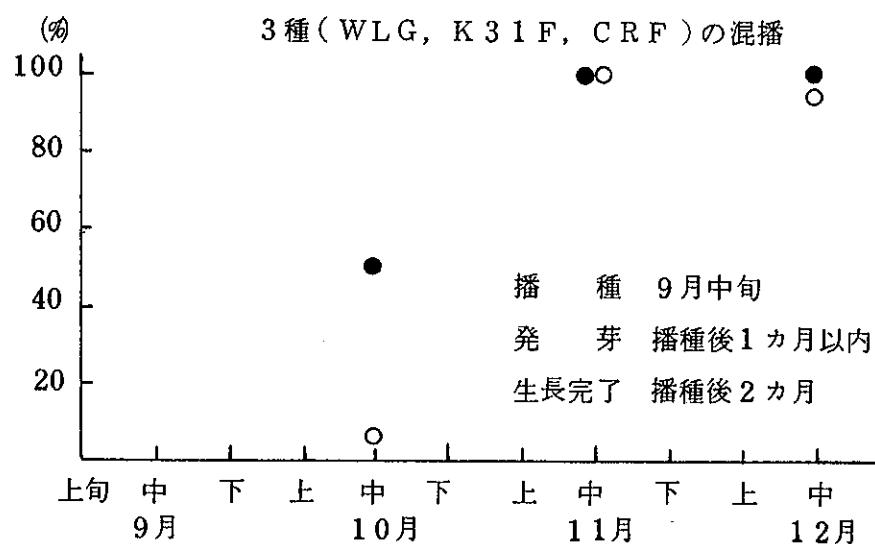
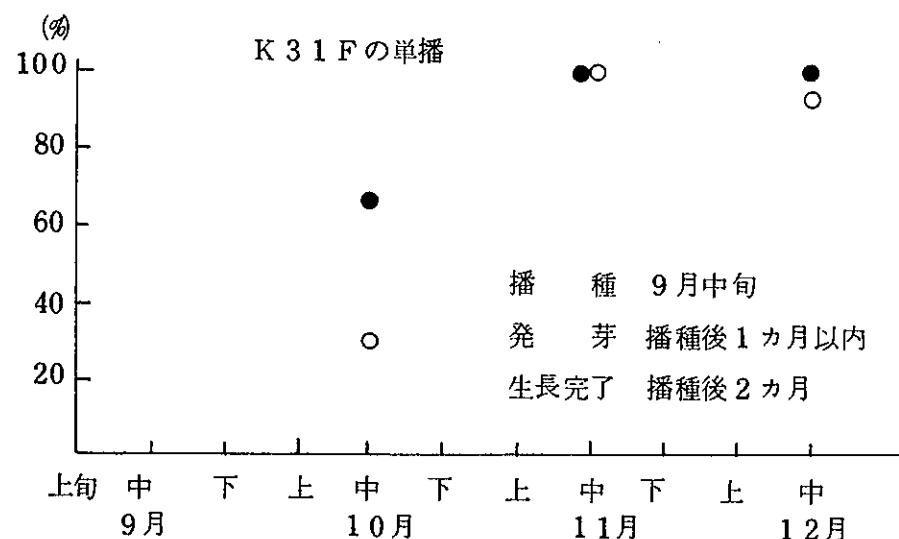
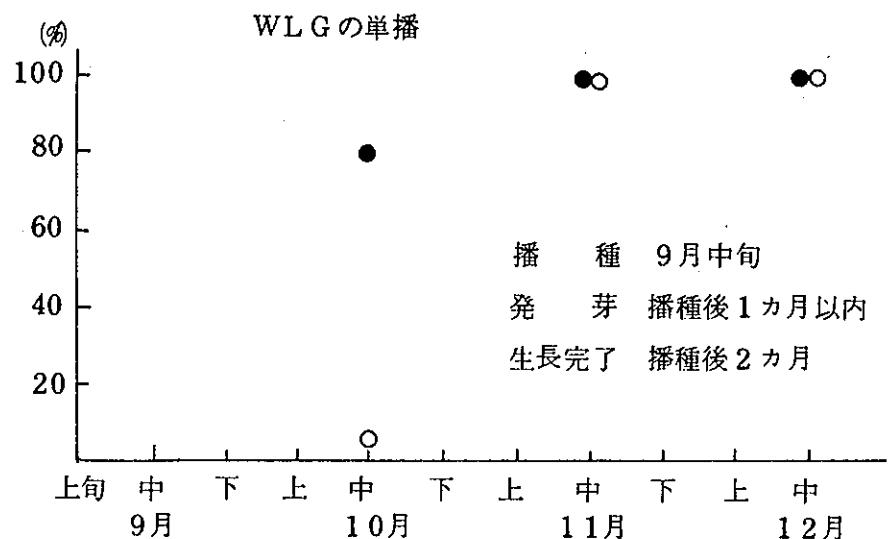


5章 緑化工法

妙法鉱山

● …被度

○ …草丈



5章 緑化工法

(2) 牧草の越冬後の生長

松尾、大正西又、妙法の3鉱山で行った播種した牧草の越冬後の生長結果を表-5.4.3、表-5.4.4、表-5.4.5に示す。

表-5.4.3 たい積場における牧草の越冬後の生長(松尾鉱山)²⁷⁾

牧草の種類	播種実施年		播種1年後		1年間の増加	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
ケンタッキー 31フェスク	0	0	0	0	0	0
	45	11	45	50	0	+39
	25	17	40	62	+15	+45
	90	19	90	66	0	+47
	70	19	95	72	+25	+53
	75	21	95	77	+20	+56
	90	22	98	67	+8	+45
ウィーピング ラブグラス	0	0	0	0	0	0
	30	6	40	47	+10	+41
	35	11	70	62	+35	+51
	40	9.5	40	62	0	+52.5
	45	8	65	65	+20	+57
	30	11	65	58	+35	+47
	40	12	80	42	+40	+30
チモシー	0	0	0	0	0	0
	35	5.5	70	42	+35	+36.5
	20	3.5	55	62	+35	+58.5
	25	5.5	65	68	+40	+62.5
	60	8	90	71	+30	+63
	15	5	80	69	+65	+64
	30	5.5	85	76	+55	+70.5
上記3種の混播	0	0	0	0	0	0
	45	9	40	40	-5	+31
	75	14.5	75	60	0	+45.5
	63	12.5	73	55	+10	+42.5
	70	15	84	68	+14	+53
	73	19	88	65	+15	+46
	73	15	85	71	+12	+56

播種した牧草のすべてが、1年後に被度、草丈共に増加した。特にチモシー、ウィーピングラブグラスの増加割合が大きかった。

5章 緑化工法

表-5.4.4 たい積場における牧草の越冬後の生長(大正西又鉱山)²⁷⁾

牧草の種類	播種実施年		播種1年後		播種2年後		2年間の増加	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
ウィーピング ラブグラス	100	90	100	96	100	97	0	+ 7
	70	40	33	40	35	53	-35	+13

牧草の種類	播種実施年		播種1年後		1年間の増加	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
ケンタッキー 31フェスク	100	30	100	45	0	+ 15
	33	20	37	25	+ 4	+ 5
ウィーピング ラブグラス	100	80	100	80	0	0
	40	45	35	40	-5	-5
クリーピング レッドフェスク	100	20	100	40	0	+ 20
	10	30	15	30	+ 5	0
上記3種の 混播	100	80	100	80	0	0
	40	45	35	40	-5	-5

牧草の被度については、ウィーピングラブグラスの場合やや減少し、その他のものは変動が少なかった。草丈はすべてがやや増加した。

5章 緑・化 工 法

表-5.4.5 たい積場における牧草の越冬後の生長(妙法鉱山)²⁷⁾

牧草の種類	播種実施年		播種1年後		1年間の増加	
	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
ケンタッキー 31フェスク	50	11.5	60	10	+ 10	- 1.5
	40	12	40	10	0	- 2
	60	14	70	7	+ 10	- 7
	95	12.5	90	7	- 5	- 5.5
	90	14	80	9	- 10	- 5
	75	12	75	11	0	- 1
	100	21	100	15	0	- 6
	100	23	100	25	0	+ 2
	95	20	100	16	+ 5	- 4
	50	11	50	10	0	- 1
ウィーピング ラブグラス	60	11.5	70	25	+ 10	+ 13.5
	5	11	5	12	0	+ 1
	60	14	70	18	+ 10	+ 4
	60	12	60	19	0	+ 7
	80	18	80	20	0	+ 2
	5	8	30	30	+ 25	+ 22
	95	25	95	40	0	+ 15
	95	20	95	38	0	+ 18
	40	22	40	40	0	+ 18
	40	10	30	27	- 10	+ 17
3種の混播 上記2種にクリーピングレッドフェスクを加えた	30	10.5	30	9	0	- 1.5
	60	12.5	65	15	+ 5	+ 2.5
	70	17	80	20	+ 10	+ 3
	60	9.5	60	8	0	- 1.5
	90	9.5	90	18	0	+ 8.5
	80	13	80	12	0	- 1
	95	20	95	38	0	+ 18
	95	23	100	25	+ 5	+ 2
	80	26	80	30	0	+ 4
	60	14.5	60	25	0	+ 10.5

播種後1年間に、被度の増加範囲は-10~+25%で変動は少なかった。草丈の増加範囲は-7~+22cmでケンタッキー31フェスクではやや減少し、ウィーピングラブグラスでは増加し、混播ではやや増加した。

5章 緑化工法

上記 3 鉱山のたい積場における牧草の越年、生長状況は、被度、草丈とともに、ほぼ播種実施年の数値を維持するか、増加していた。

なお、播種実施年に生育が悪い場合は翌年になっても生育が悪いことが多かった。

(iii) 土壌 pH と牧草の生育について

(1) 6 鉱山(松尾、大正西又、小杉沢、与内畠、妙法、下北川内)のたい積場における緑化試験で、土壌 pH と牧草(K 31F, WLG, Tim, CRF の各単播及び混播)の生育に関して、次のような結果が認められた。

pH 3 未満……………種子が発芽しない。または発芽生長しても被度は 40 % 以下と低い。

pH 3 以上 4 未満……種子は発芽するが、生長後の被度は 30 ~ 70 % であり全般的に低い。

pH 4 以上 5 未満……発芽生長後の被度は 35 ~ 100 % であり、成績はバラツキが多い。

pH 5 以上……………例外を除いて、発芽生長後の被度は 70 ~ 100 % であり、成績が良い。

なお、混播の場合は、単播に比べて成績が安定している。特に pH 4 以上において安定している。これは、単播の場合、播種時期や播種後の気象条件などの影響を受けやすいためと考えられる。

(2) 2 鉱山(小杉沢、豊栄)の覆土緑化工事施工後の追跡調査から、土壌 pH と牧草の活着の関係は次のようであった。

- ① pH 4 未満では、おおむね裸地となる。
- ② pH 4 以上~5 未満では植生地の場合と裸地の場合がある。
- ③ pH 5 以上では、おおむね植生地となっている。

f. 植物の根系強度に関する資料

牧草(K 31F)を対象にした実験結果²⁵⁾ を参考として以下に示す。

土の乾燥密度と根系の生長量についてみると、乾燥密度 1.6 (これはかなり強い締固め度である)の場合、ほとんどの根系が深さ 10 cm 以内に密生している。切取りのり面の場合はこのような状態にあるものと思われる。1.2 ~ 1.4 は一般の盛土、のり面、表層土の場合であろう。この場合でも根の量が比較的

5章 緑化工法

多いのは表層 20 cm程度である。1.0は林地や山腹斜面のごく表層の密度であり、多くの根が 40 cm以上深く侵入するが、このような低密度層が深くまで存在する例は少ないであろう。（図-5.1.5 参照）

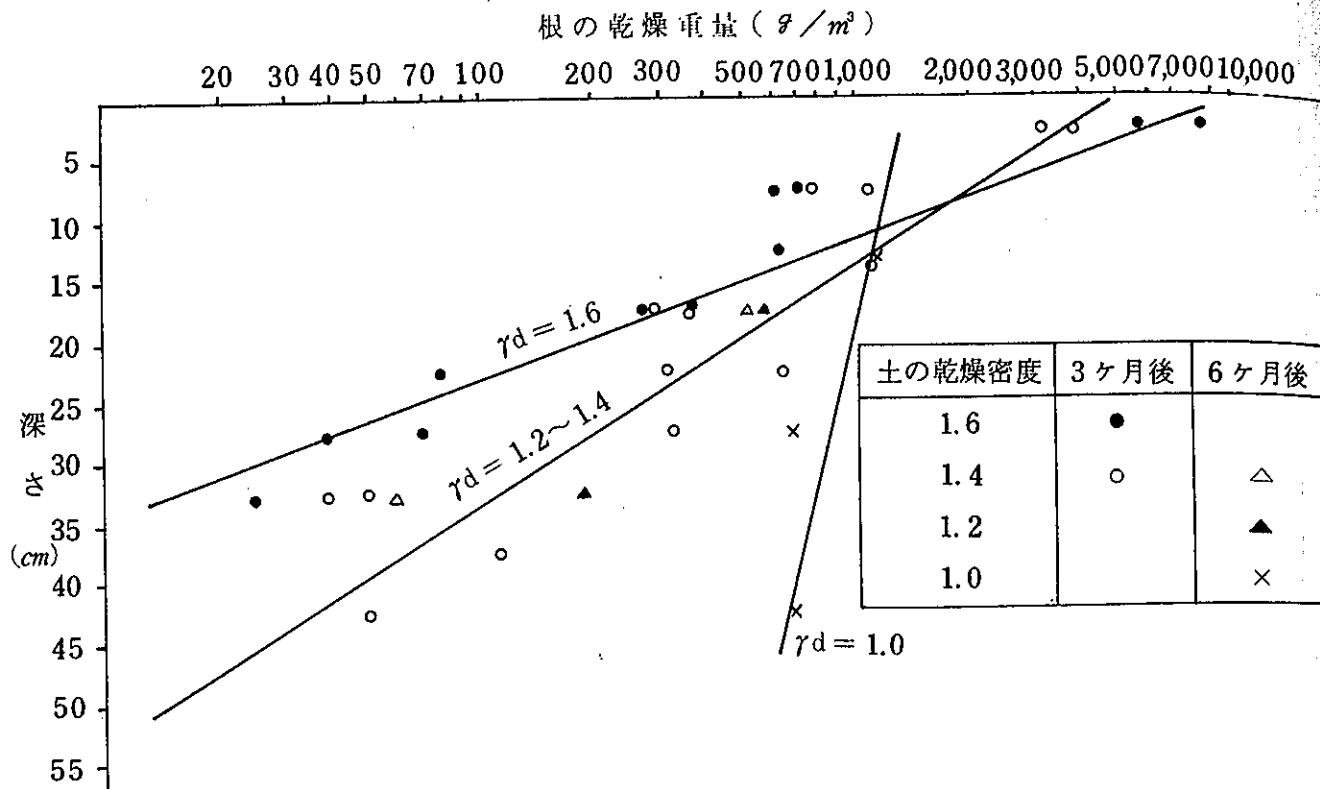


図-5.1.5 土壤深度と根系生長量²⁵⁾

一般に、のり面でK 31 Fが旺盛な生長をしている場合、地上部の乾燥重量は約 550 g/m³といわれる。また、実験結果によると、旺盛な生长期における根系量は約 450 ~ 500 g/m³であり、根系量が約 100 g/m³から約 700 g/m³と幅がある場合でも湿潤状態でのせん断強度には、全く差異が認められなかった。湿潤状態になると根系量のせん断強度への影響がなくなることは注目すべきである。（図-5.1.6 参照）

土壤深度とせん断強度について、自然含水比状態でのせん断強度は、約 20 cmの深さまでは急激に増加するが、それ以上の深さでは根系の減少とともに急速に減少し、30 cmの深さで土のみの強度とほぼ同じになる。例えば勾配が 30° の場合、これらの強度での安定限界深さは自然含水比条件で約 6.5 cm、湿潤条件で約 2.2 cm、45° の勾配では、自然含水比で約 2.1 cm、湿潤条件で約 9 cm

5章 緑化工法

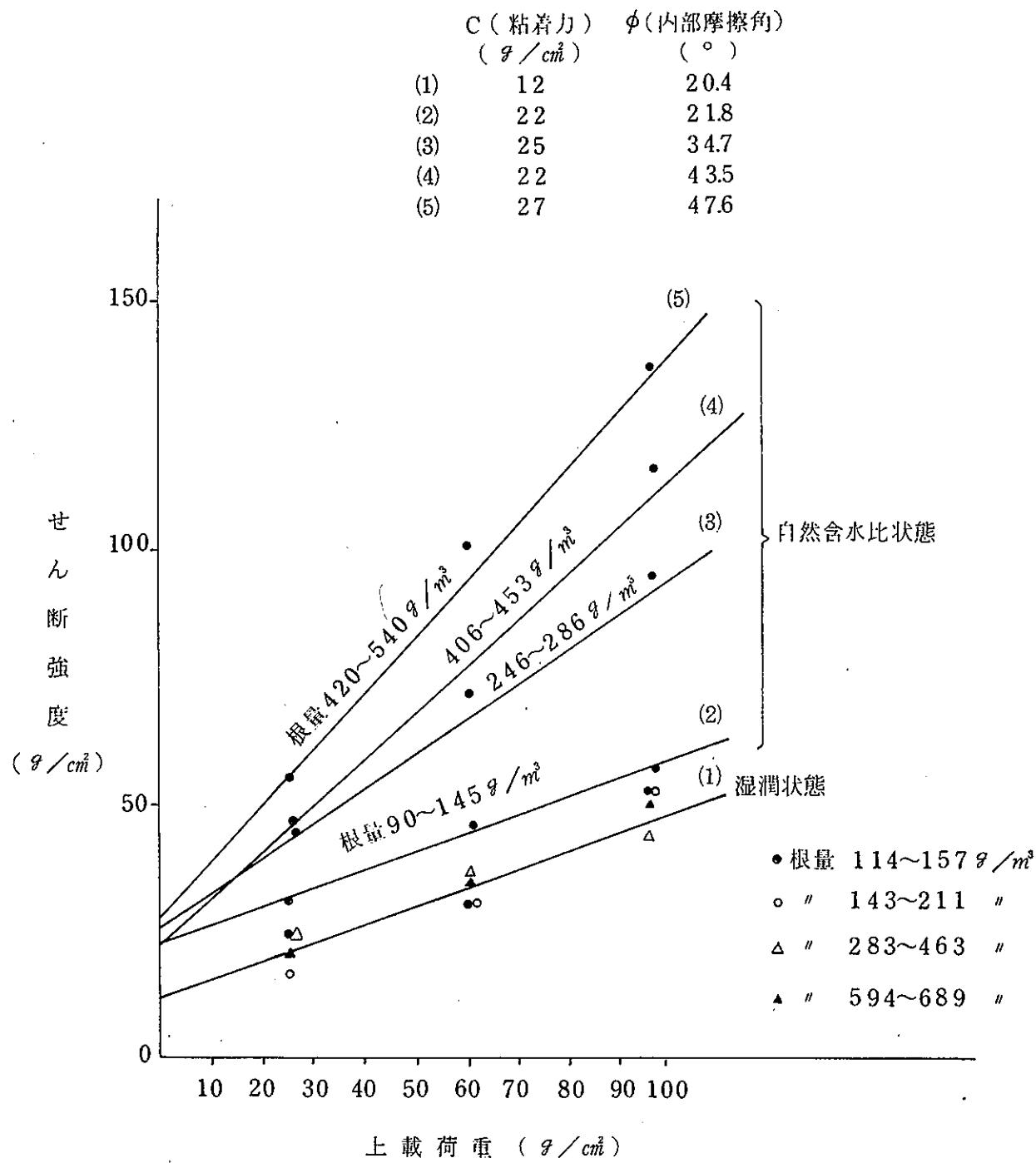
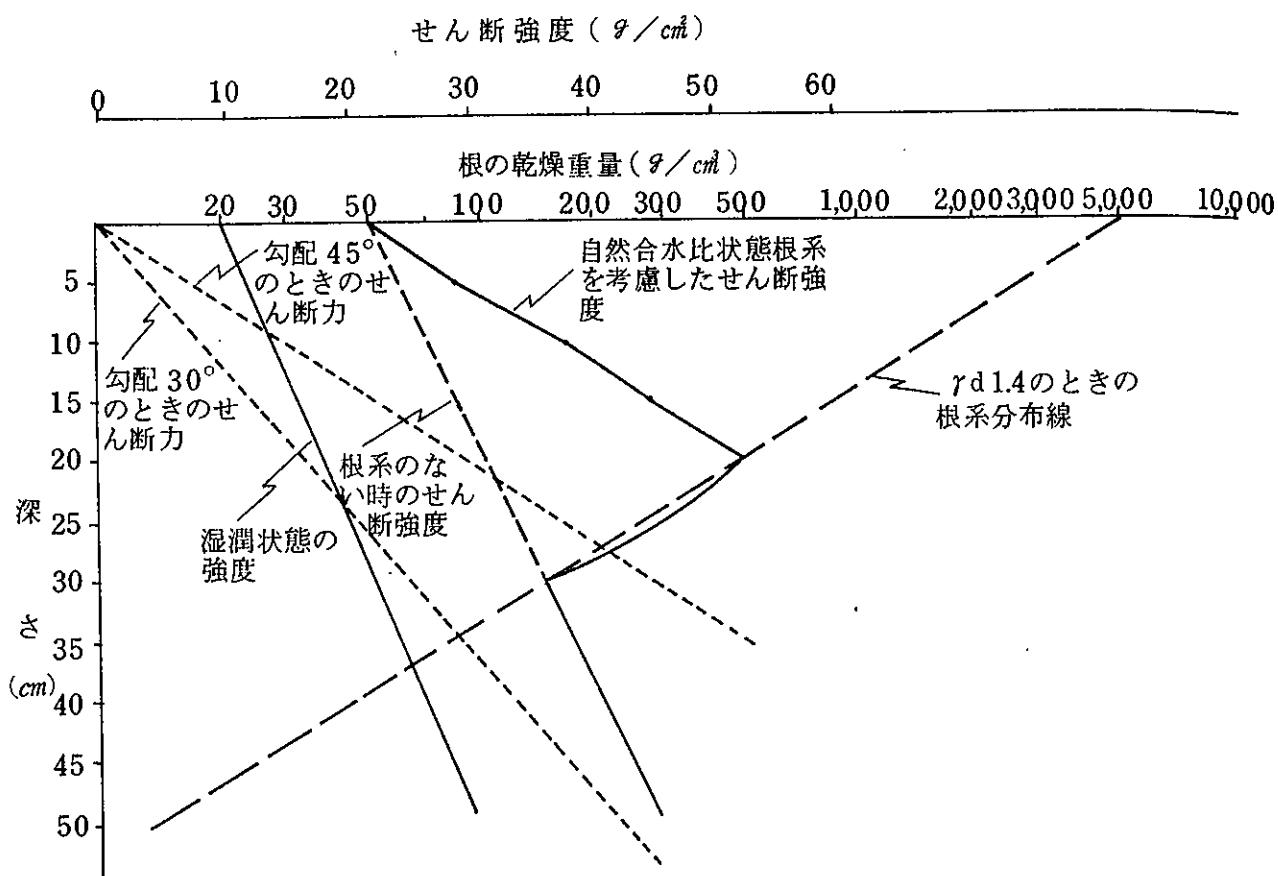


図-5.1.6 根系量とせん断強度²⁵⁾

図-5.17 土壌深度とせん断強度(計算値)²⁵⁾

であり、ごく浅い表層土しか安定できず、根系の影響も少なくなる。(図-5.17 参照)

5・3・2 植栽工

植栽工は、植栽することによって植生を復元する工法で、ある程度進んだ植生を早期に実現するのを目的にする。方法としては、木本の植栽の他、挿木、埋幹、埋根、株植、根播きなどがある。

たい積場の植栽は、可能ならば最初から周辺に自生する植物の中から選んで、生態遷移の軌道にのせやすくするのが好ましい。

a. 植栽工の種類^{5) 19)}

植栽工の概要を列記する。

5章 緑化工法

(i) 木本植栽

山取り木、並びに苗圃で養成した1～3年生の幼苗は、あらかじめたい積場近辺の圃場に移植して、2～3年間馴化させた後に植栽すると、順調に生育する。

直植式……植穴を掘り、肥料や土壤改良剤を現地の土とともに混合して植栽する方法である。土壤の物理・化学性が比較的良好なところに適する。

植穴式……植穴に良質の土壤を客土し、土壤改良剤、肥料を混合した後に植付ける方法である。硬質土ややせ土など土壤の物理・化学性が不良なところに適する。

盛土式……現在の地盤上に盛土をした後、肥料や土壤改良剤を混合して植付ける方法である。地下水位の高い湿地や無土壤岩石地などに適する。

なお、実際に緑化を実施するに当たっては、一般に木本植栽に草本類の播種工を併用する。

(ii) 挿木

緑化施工地に直挿しするには、施工時期が制限されること、及び処理技術にも問題があるため、一般に活着率の良い木本類を選ぶ必要がある。

(iii) 埋幹

落葉広葉樹の穗長(13～15cm)を、原則として全部を土中に埋め込む。これは地表上の枝からの乾燥防止、活着率向上に役立つ。

(iv) 埋根

根を切って、それを挿木、埋幹に準じて、挿付ける方法である。

(v) 株植、根播き

根株を採取して植付ける方法である。通常、種子からの繁殖が期待できないものや確実性に乏しい種類について行うことが多い。

b. 在来種の各種植栽試験

松尾鉱山及び大正西又鉱山のたい積場において、在来種について苗木の移植、株植、挿木によって植栽試験を行った。その試験結果を表-5.46～表-5.50に示す。

(i) 苗木の移植

松尾鉱山における試験(表-5.46)の結果、植栽後の最初の越冬で活着率

表-5.4.6 たい積場における在来種の苗木植栽試験（松尾鉢山）²⁷⁾

苗木は挿木によって養成したもの、移植時の樹高は 10 cm、植栽時期：5月下旬・7月下旬、植栽間隔：20 cm。

土 壤 条 件	苗木 の 種 類	植栽実施年の生育状況			植栽1年後の生育状況			植栽2年後の生育状況		
		活着率(%)	樹高(cm)	活着率(%)	樹高(cm)	活着率(%)	樹高(cm)	活着率(%)	樹高(cm)	
消化汚泥混入	たい積物の表層厚さ30cmに消化汚泥を混入し、pHを7.3にする。 エゾノバッコヤナギ ノリウツギ	40 71 59	24 10 10	16 20 1	28 11 10	6 25 1	42 13 20			
	たい積物の表層厚さ30cmに消石灰を混入し、pHを7.2にする。 エゾノバッコヤナギ ノリウツギ	43 54 40	22 9 10	9 11 0	35 12 0	2 19 0	45 11 0			
覆土施工	覆土を厚さ30cm施工する。 エゾノバッコヤナギ ノリウツギ	43 75 42	22 8 10	10 10 0	26 12 0	6 18 0	43 8 0			
	たい積物そのままにする。 エゾノバッコヤナギ ノリウツギ	40 60 41	23 10 10	11 18 2	35 14 14	6 23 5	46 13 25			

5章 緑化工法

が低下した。その原因是凍上により根が浮き上り乾燥したり、風によって倒されたためである。したがって松尾鉱山の場合は土壤条件よりも気象の影響が大きい。このため凍上防止、防風対策が必要と考えられた。

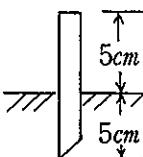
最初の越冬に耐えた苗木はその後も生育した。比較的活着率の良いものはエゾノバッコヤナギ、生長の大きいものはヒメヤシャブシであった。

(ii) 插木

鉱山周辺でエゾノバッコヤナギの挿穗を採取し插木した。

表-5.4.7 たい積場における挿木植栽試験(松尾鉱山)²⁷⁾

植栽時期：5月下旬，6月下旬，植栽間隔：20cm

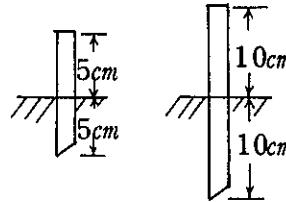
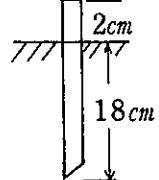
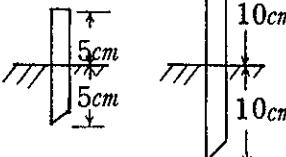
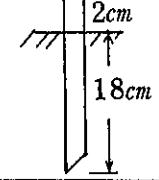
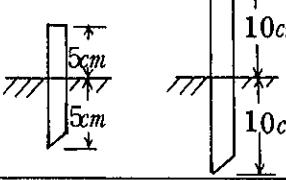
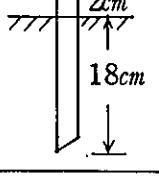
土 壤 条 件	挿 木 の 方 法	植栽1年後の生育状況		
		活着率(%)	樹高(cm)	
消化汚泥混入	たい積物の表層厚さ30cmに消化汚泥を混入し、pHを7.3にする。		12.1	11
石灰混入	たい積物の表層厚さ30cmに消石灰を混入し、pHを7.2にする。	同 上	0	0
覆土施工	覆土を厚さ30cm施工する。	同 上	4	7
たい積物そのまま	たい積物そのままにする。	同 上	4	8

この結果、全般的に活着率が低かった。その原因是凍上により根が浮き上がり乾燥したり、風によって倒されたためである。対策としては、插木は挿穗を長くとり深挿しにし、插木箇所は有機物混入などで保水性と通気性を改良する必要があると考えられた。

なお、発根促進用ホルモン剤の使用効果及び3本たばねて插木する方法も試験したが、これらの試験では効果は現われなかった。

大正西又鉱山における試験(表-5.4.8)では覆土を20cmにして深挿した場合、活着率は向上した。イヌコリヤナギが特に成績がよかつた。通常の方法及び覆土なしの場合、成績は悪かつた。原因是凍上により根が浮き上がり、乾

表 - 5.4.8 たい積場における挿木植

植物の種類	挿 木 の 方 法	
イヌコリヤナギ	通常の方法 牧草の種子吹付けを行うと同時に、挿木を行う。 土壤条件として、覆土を行う場合と行わない場合を比較する。挿木の方法は、通常の場合と深挿の場合を比較する。	 <p>植栽時期：5月下旬, 6月中旬 7月中旬, 7月下旬 9月中旬 植栽間隔：50cm</p>
	深挿の場合	 <p>植栽時期：5月下旬 7月下旬 植栽間隔：10cm</p>
エゾノバッコ ヤナギ	同 上	通常の方法  <p>植栽時期：5月下旬, 6月中旬 7月中旬, 7月下旬 9月中旬 植栽間隔：50cm</p>
		深挿の場合  <p>植栽時期：5月下旬 7月下旬 植栽間隔：10cm</p>
ウツギ類 タニウツギ ニシキウツギ	同 上	通常の方法  <p>植栽時期：5月下旬, 6月中旬 7月中旬, 7月下旬 9月中旬 植栽間隔：50cm</p>
		深挿の場合  <p>植栽時期：5月下旬 7月下旬 植栽間隔：10cm</p>

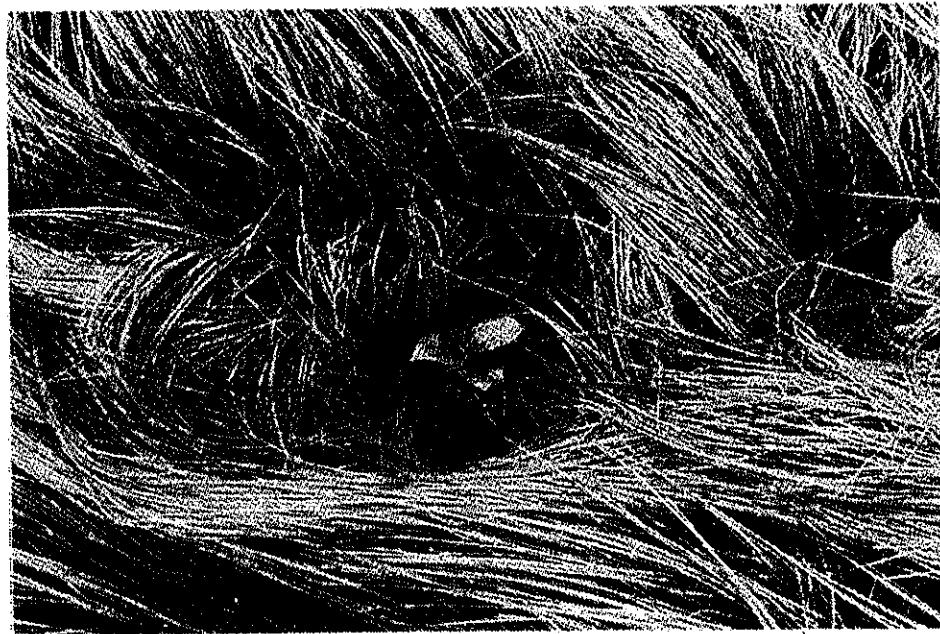
5章 緑化工法

栽試験(大正西又鉱山)²⁷⁾

覆土の厚さ (cm)	植栽実施年の生育状況		植栽1年後の生育状況	
	活着率 (%)	樹高(cm)	活着率 (%)	樹高(cm)
20	4~5	—	<1	62
	4~10	—	0	0
10	70~90	6~11	70~90	31~35
	10	8	10	32
	0~30	2	0~30	26
0	0	0	0	0
	0	0	0	0
20	20~30	3~4	20~30	24~27
	6	4	6	28
	10~30	1~3	0~10	24
10	0~8	—	5	25
	0~7	—	0	0
0	10~20	1	10~20	23~25
	4	1	4	23
	0~8	<1	0~8	23

5章 緑化工法

燥したためである。なお、発根促進用ホルモン剤の使用効果及び5本たばねで挿木する方法を試験したが、これらの試験では効果は現われなかった。



ウィーピングラブグラスの生長と挿木の活着状況
(青森県大正西又鉱山)

5章 緑化工法

(III) 株 植

周辺で株を採取し、地上部を約 5 cm 残して切った後に植栽した。

表 - 5.4.9 たい積場における株植植栽試験(松尾鉱山)²⁷⁾

植栽時期：9月中旬，植栽間隔：20 cm

土 壤 条 件		植物の種類	植栽1年後の生育状況		植栽2年後の生育状況	
			被度(%)	草丈(cm)	被度(%)	草丈(cm)
消化汚泥混入	たい積物の表層厚さ 30 cm に消化汚泥を混入し, pH を 7.3 にする。	コメススキ	3	1.5	7	5
		ヒメスゲ	12	3.5	4	6
石 灰 混 入	たい積物の表層厚さ 30 cm に消石灰を混入し, pH を 7.2 にする。	コメススキ	1	1	7	4
		ヒメスゲ	3	1	+	2
覆 土 施 工	覆土を厚さ 30 cm 施工する。	コメススキ	1	1.5	3	3
		ヒメスゲ	+	2	3	2
た い 積 物 そ の ま ま	たい積物そのままにする。	コメススキ	1	1	2	3
		ヒメスゲ	+	1	1	1

この結果、活着はするが、全般的に生長が悪かった。消化汚泥混入区では、若干成績が向上した。大正西又鉱山における試験(表 - 5.5.0)ではいずれも活着し、経時の生育も順調であった。



株植したススキの生長(青森県大正西又鉱山)

表-5.5.0 たい積場における株植植栽試験(大正西又鉱山)27)

植栽時期: 9月中旬

5. 増収化工詳

植物の種類	試験地の地形	株植の方 法	植栽1年後の状況			植栽2年後の状況		
			活着率(%)	草丈(cm)	活着率(%)	草丈(cm)	活着率(%)	草丈(cm)
ススキ	平坦地	たい積物の表層に深さ30cmの溝を掘り、その中に植栽する。覆土を行う場合と行わない場合とする。地上部を約5cm残して切った後には植付け間隔は50cmとなる。 斜面に編柵を設けて植栽する。覆土を行う場合と行わない場合とする。なお、株植の場合は、平坦地の場合と同様に行なう。	100	20cm たい積物 ↓ 覆土20cm	100	60cm たい積物 ↓ 覆土20cm	100	75cm たい積物 ↓ 覆土20cm
ヘビノネゴザ	傾斜地	たい積物の表層に深さ30cmの溝を掘り、その中に植栽する。覆土を行う場合と行わない場合とする。地上部を約5cm残して切った後には植付け間隔は50cmとする。 斜面に編柵を設けて植栽する。覆土を行う場合と行わない場合とする。なお、株植の場合は、平坦地の場合と同様に行なう。	100	20cm たい積物 ↓ 覆土20cm	100	30cm たい積物 ↓ 覆土20cm	100	25cm たい積物 ↓ 覆土20cm

5章 緑化工法

なお、通商産業省東京鉱山保安監督部では、硫黄鉱山における、焼取鉱さいたい積場や採掘とともに廃棄された砾(廃石)たい積場において、ササ類の株植による緑化の成功例を報告している。

これは、北海道恵山鉱山の焼取鉱さいたい積場(たい積物 pH 約 2.0)にチシマザサの地下茎が伸びて繁茂している事実から、強酸性土壤中でもササ類の株植が可能ではないかとして、長野県小串鉱山の砾たい積場(pH 3.36)において、チマキザサの株植による植栽試験を行ったものである。チマキザサは鉱山付近の山腹に自生しているもので、スコップで掘り起こし、砾中に根付きのまま株植したものである。株植翌年に茎は枯れていたが、株の中心から新芽が10~20cm伸び、地下茎も新しく伸びており、活着していることが判明した。

このことから、ササ類の株植は低 pH のたい積場でも極めて有効であり、今後積極的に導入されるべき緑化工法であると考える。

c. のり面の樹木植栽

自然の縁が乏しい市街地周辺部では、のり面は「緑のための場」として景観上からの要素が加わるので、造園又は育林的技術を応用し、積極的に樹木を植栽して、早期に植生を復元する方法が採用されることがある。その場合、のり面の景観は「目立たない」ようにすることが要点である。したがって、急傾斜の場合、緩傾斜に整形することは、自然破壊範囲を拡大して「目立たせる」結果になることがある。むしろ、急傾斜のり面のまま緑化の重点をのり面そのものより、むしろのり面の前面にグリーンベルトを造るようにするとよい²⁾。

次に積雪地で、長いのり面に植栽する場合は、前述した積雪対策を施工し、樹木の植栽は、階段上の前縁部とか、ややそれより下った浅い積雪部分に実施する。

多積雪地における植栽工の場合、高木類には積雪深度の2倍以上の支柱を立てるか、又は「斜め植え」がよい。低木類は雪圧に強い上、積雪による保温作用があるので、土地条件によっては、常緑樹を用いることもある。

5・3・3 自然植生誘導工

山間部などに位置するたい積場は、自然植生に囲まれている場合が多い。したがって、生態遷移(自然の復元力)に留意し、これを促進する工法が効果的

5章 緑化工法

である。生態遷移を促進する条件は次のとおりである。

- ① 緑化工施工時に、すでに土中に種子、根茎などが含まれている。
- ② 飛来した種子が、定着・発芽できる土壤がある。しかし、外来の牧草などが過密に繁茂していると発芽できない場合がある。
- ③ 表土が安定しており、侵食されにくい。

a. 碓被覆工

たい積場の状況に見合った基礎工を施した表土に播種した後、直径約10～20cmの比較的大きな礫を、地肌が見える程度で、重ならないように敷き並べる。この場合の礫は鉱山の砾でよい。礫被覆に関して金属鉱業事業団が小杉沢及び妙法の両鉱山のたい積場で行った牧草試験を、表-5.5.1に示す。礫被覆が牧草の生育に及ぼす効果は次のとおりである。

- ① 被度が向上する。比較的乾燥に弱いといわれているケンタッキー31フェスクの場合に特に良好であった（小杉沢、妙法）。
- ② 草丈が伸長する。礫被覆を行わない場合の約1.5倍になった（妙法）。
- ③ 葉色が維持される。ウィーピングラブグラスの場合、特に顕著であった（小杉沢、妙法）。
- ④ 在来種のヨモギの発芽、生長が可能であった（小杉沢）。

次に、大正西又及び妙法の両鉱山のたい積場で行った礫被覆が周辺植物の侵入に及ぼす効果を、表-5.5.2に示す。その結果は次のとおりである。

- ① 侵入植物（草本類）の被度が向上した。
- ② 木本類の侵入速度が向上した。

以上の試験結果をふまえ、礫被覆が植生に及ぼす効果を示すと次のようになる。

被覆の効果

植生への影響

5 種子飛来による影響

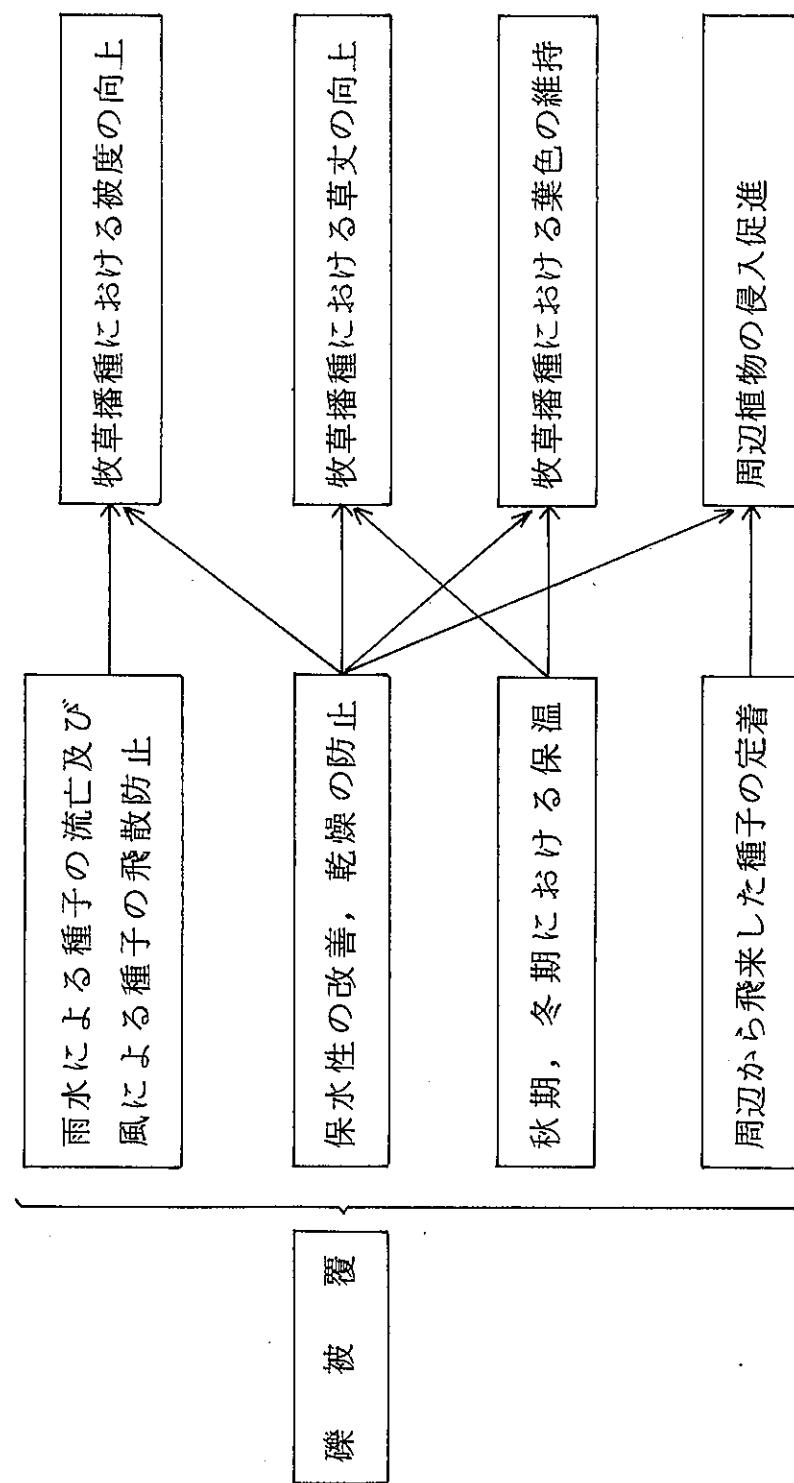
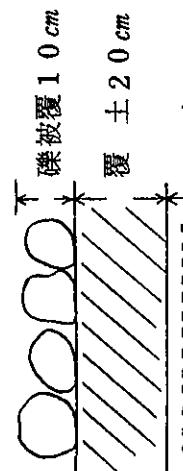
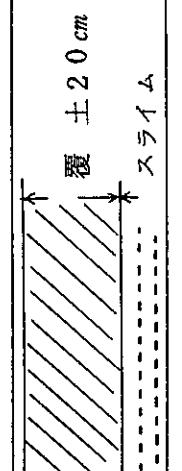
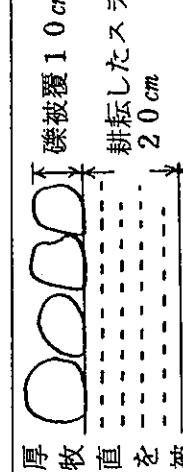
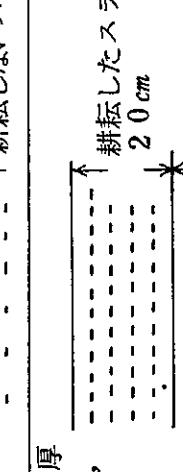


表-5.5.1 碓被覆工による牧草試験(小杉沢鉱山・妙法鉱山)27)

鉱山名	礫被覆有無	礫被覆工及びたい積物の改良工の説明	播種3.5カ月後の生育状況					
			K 3 1 F の 単播 被度 (%)	W L G の 単播 被度 (%)	2種の混播 被度 (%)	草丈 (cm)	被度 (%)	草丈 (cm)
小杉沢	有 (覆土を行う)	スライムの上に厚さ 2.0 cmの覆土を施工 し、牧草を播種した 後に直径1.0 cm程度 の礫を重ならないよ うに被覆する。		100	50	100	73	100
	無 (覆土を行う)	スライムの上に厚さ 2.0 cmの覆土を施工 し、牧草を播種する。		40	60	100	60	100
妙法	有 (覆土を行わない)	スライムの表層の厚 さ2.0 cmを耕耘し牧 草を播種した後に直 径1.0 cm程度の礫を 重ならないように被 覆する。		100	15	30	40	80
	無 (覆土を行わない)	スライムの表層の厚 さ2.0 cmを耕耘し、 牧草を播種する。		50	10	30	25	60

5章 緑化工法

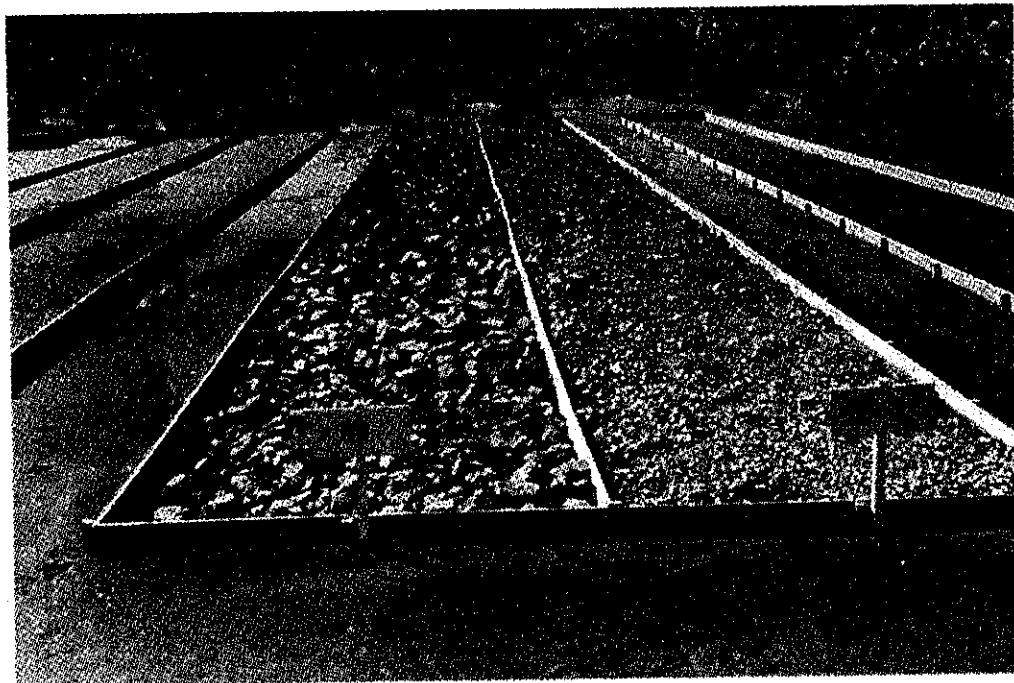
表-5.5.2 磯被覆工が周辺植物の侵入に及ぼす効果試験

(大正西又鉱山・妙法鉱山)²⁷⁾

鉱山名	磯被覆有無	磯被覆工及びたい植物の改良工の説明	試験開始後2年後の植生状況(3m ² 当り)			
			草本		木本	
			種類	本数(本)	種類	本数(本)
大正西又	有 (覆土を行う)	斜面に編柵を設け、厚さ20cmの覆土を施工した後に、直徑10~20cmの磯を被覆する。		侵入なし	タラノキ ケヤマ ハンノキ ノリウツギ	1 7 1
	無 (覆土を行う)	斜面に編柵を設け、厚さ20cmの覆土を施工する。		オオイタドリ 2	侵入なし	

鉱山名	磯被覆有無	磯被覆工及びたい植物の改良工の説明	試験開始1年後の植生状況(3m ² 当り)				
			草本(スキ、イタドリ)		木本		
			被度(%)	草丈(cm)	種類	本数(本)	
妙法	有 (覆土を行わない)	スライムの表層を厚さ20cm耕耘した後に直徑10cm程度の磯を重ならないように被覆する。		70	14	アカマツ ヒノキ リュウブ	2 1 4
	無 (覆土を行う)	スライムの表層を厚さ20cm耕耘した後に厚さ10cmの覆土を施工する。		80	10	アカマツ リュウブ クマイチゴ 不明種	1 1 1 5
	無 (覆土を行わない)	スライムの表層を厚さ20cm耕耘する。		20	9	侵入なし	

5章 緑化工法



昭和 54 年 11 月



昭和 57 年 8 月

礫被覆工による周辺植物の侵入状況（和歌山県妙法鉱山）

5章 緑化工法

金属鉱業事業団で試験した礫被覆工は、たい積場の植生工として、有効であると考えられる。

礫被覆工は、たい積物の性状によっては、覆土使用量を低減するか又は覆土をしない緑化を可能にする。また、木本類の種子（例えばハンノキ、アカマツ）は約150m飛散するので、広いたい積場でも、周辺の自然植生の侵入が可能である。したがって、礫被覆で種子の定着、発芽条件をよくすれば、人為的播種をしなくとも、生態遷移が促進される。

b. 表土被覆工（種子潜在表土播工）

山野の表層土には、自然に種子や地下茎及び根系が埋包され、土壤の物理性、化学性を改良する有機物も含まれている。

たい積場の緑化基礎工の一つに覆土があるが、採土地の下層土（心土）を覆土材にすると上記の自然の種子（埋土種子）などがない。そこで、山野から採土する場合、表層の厚さ約30cmをまず剥いで別にし、その下層の土を用いて覆土し、最後に表層土を適当な厚さに敷いて、軽く転圧するか礫被覆をしておくと発芽してくる。

なお、緑化面積が広く、必要な量の表土が得にくい場合は、一度に全面積の緑化を図らず、自然植生に隣接する周辺部から、逐次施工するとよい。例えば、対象地が広くても平坦地ないし緩傾斜地の場合には、周辺部のみの施工でも生態遷移は着実に進み、また、侵食の恐れも少ない。

c. その他の工法

建設中の畳たい積場のように、土壤条件が比較的良好な場合、最終的な形状ができるあがった場所から順次緑化を図っていくことがある。この場合の緑化は、外来種の牧草によらず、秋に穂のついたススキを刈り取って地表面に敷きならべておくと、翌年一面に発芽し効果的である。

また、覆土材の入手が困難な場所では前述したように消化汚泥を利用した土壤改良が有効である。金属鉱業事業団が松尾鉱山の焼取製錬滓のたい積場で行った消化汚泥施用による周辺植物の侵入に及ぼす試験結果を表-5.5.3～表-5.5.5に示す。この結果、表土を消化汚泥によって改良すると、生態遷移の発端となることが判明した。

5章 緑化工法

表-5.5.3 消化汚泥施用による周辺植物の
侵入に及ぼす効果(松尾鉱山)²⁷⁾

試験地: 焼取製鍊滓のたい積場(標高876~877m)

試験期間: 昭和50年11月より3年間

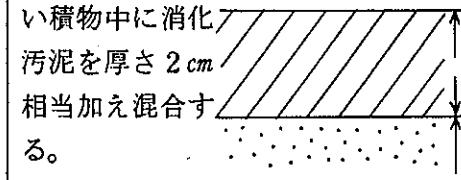
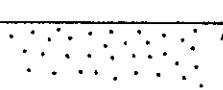
方法	方法の説明	試験開始3年後の植生状況(8m ² 当り)			
		草本		木本	
		種類数	個体数(本、株)	種類数	個体数(本)
消化汚泥を使用した場合	厚さ30cmのたい積物中に消化汚泥を厚さ2cm相当加え混合する。 	14	127	5	26
消化汚泥を使用しなかった場合	たい積物そのままにする。 	4	42	0	0

表-5.5.4 消化汚泥混入後の侵入植物の
種類の変遷(松尾鉱山)²⁷⁾

	試験開始1年後		試験開始2年後		試験開始3年後	
	草本類, 蘚苔類	木本類	草本類, 蘚苔類	木本類	草本類, 蘚苔類	木本類
新たに 発芽生長 した種類	ハグルマゴケ オオイタドリ ヒメスゲ オオヒメシバ メヒメシバ オトコヨモギ トマト シロツメクサ イヌタデ アカザ ハコベ サクラタデ ミチヤナギ	ミネヤナギ			ススキ スギナ アキタブキ ギシギシ ヤマハハコ ヒメジョオン イネ科草本 オヒシバ	キヌヤナギ イヌコリヤナギ エゾノバッコヤナギ マルバシモツケ
滅種 失 した類			オヒシバ メヒシバ トマト イヌタデ		アカザ ハコベ	ミチヤナギ

表-5.5.5 消化汚泥混入と土壤性質の関係(松尾鉱山) 27)

調査項目 試験	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	置換酸度	腐植 (%)	置換性塩基(meq/100g)			塩基置換量 (me/100g)	リソシ酸 吸収係数 (μS/cm)	導電率 (μS/cm)	含水率 (%)	透水係数 (cm/sec)
					Ca	Mg	K					
たいのまま	4.2	3.9	7.5	0.43	14.0	18.0	8.8	1.6	2.5	1.30	15.1	25.5
消化汚泥混入 2週間後	7.3	7.0	1.0	1.5	193.0	8.0	9.4	5.0	1.9	1.20	79.6	27.0
消化汚泥混入 2年後	5.3	4.4	7.4	0.5	5.91	4.2	6.1	3.4	6.4	2.90	23.9	38.9
消化汚泥混入 3年後	4.6	3.9	6.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6章 保護管理

設計通りたい積場に緑化工を施工しても、たい積物の多くは、植物の生長にとっては厳しい環境であり、その上、施工直後に豪雨とか旱天などの悪条件に遭遇すると、所期の成果が得にくくことにもなる。

そこで、緑化施工後は追跡調査を行い、緑化の不完全な箇所を発見し、原因調査、対策などを行うことが必要である。

重点的に保護管理する箇所は、侵食の恐れの大きいのり面であって、特に長大なのり面に留意する。

6・1 生育調査

緑化状況を把握するため、主に草本類について、次の項目を調べるとよい。

6・1・1 個体密度の測定

草本が一定面積内に生育している本数割合を個体密度という。この測定方法は、播種後約1カ月して、草本の本数が数えやすい時期の調査に適している。

通常、 $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ の正方形の枠を設定し、数えた本数を16倍して 1 m^2 当たりで表示する。 1 m^2 当たり $5,000 \sim 10,000$ 本あれば、将来、全面被覆となり、斜面保護の効果が得られる。しかし、余り多過ぎると草が競合して生育が阻害される。また、外来の草本では、過密になると在来種の侵入が阻止され、生態遷移に支障をきたすことがある。

6・1・2 草丈の測定

通常、 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ の正方形の枠を設定し、地上部の全長（根ぎわから葉先までの長さ）を草丈として測定する。草丈の調査だけでは、密度が考慮に入らないから、生立本数と合わせて調査することが望ましい。

6章 保護管理

6・1・3 植物被覆率（被度・被覆度）の測定

一定面積に対して、植物が被覆している面積割合を測定することは、斜面保護効果を、最も直接的に示すものである。測定は、種子吹付工などの全面緑化工事が施工され生育が完了した時点（播種後約2カ月）が適期である。

測定方法は、正式には上面から写真を撮り、その写真の上にセクションペーパーをあてて、植生部分と裸地部分の面積から被覆率を計算するが、実際には現地における肉眼観測でも測定は可能である。

広い緑化工事の場合は、工区内の4～5箇所で測定し、その被度を平均して、その工区の被度とし、全体的な写真を添えるのがよい。

6・2 管理

一般的には、種子吹付工では2～3カ月、筋播工では約6カ月で、発芽・生長し、被覆が完了する。先駆植物として牧草を播種した場合、牧草は3～5年を経過すると次第に衰退する。一方、周辺から在来植物が侵入を開始し、生態遷移が進行する。したがって、こうした自然現象が順調に進行するように、緑化箇所ごとに管理方法を考える。管理期間としては温暖地で3年、寒冷地では少なくとも5年とするのが望ましい。

6・2・1 平坦地及び緩傾斜地の管理

土壤侵食の恐れがないか、又は少ない場所では、植生後に小規模の生育不良箇所が全体の約30%に点在していても、特に対策を講じる必要のない場合がある。裸地のある方が生態遷移が進行しやすいからである。

6・2・2 傾斜地（のり面）の管理

のり面で種子吹付工を施工後、6カ月～1カ年経過した時点で、牧草などの草本類が生育しないか、又はまばらにしか生育しない場合には、のり面が長い程、雨水による侵食が問題となる。したがって、その原因を総合的に検討する必要がある。

即ち、土壤、播種方法、天候などについて検討した結果、主として土壤に原因があることが明らかになった場合、再度、改良工を施工することになる。土

6章 保 護 管 理

質のうち、特に砂質土は裸地が生じやすいので侵食防止剤を用いる必要がある。また、粘性土では凍土の危険があるので冬期までに早期被覆を完了する。硬質土では乾燥害や肥料切れが起りやすいため、乾燥防止材と追肥を併用するなど基本的工法を再検討してみる。また、pH が 3.5 未満の強酸性土壌の場合には、中和剤を混入して改良するとか、覆土などの基礎工が必要になる。

一般的に、砂質土、硬質土では 2 ~ 3 年間は、年 1 回速効性肥料を追肥して養生するとよい。追肥の量は本肥の $1/2 \sim 1/3$ を施用し、追肥時期は冬型草では気温が 5 °C 以上、夏型草では 10 °C 以上になった時点がよい。

なお、次のような理由で、たい積場のり面における樹木の管理が重要である。

- ① のり面の樹木が大きくなると、その重量がのり面の安定性に影響する。
- ② 高木が点在すると風倒の恐れがあり、かつ、強風のため、根のまわりの土がゆるみ、雨水が浸透しやすくなる。
- ③ 樹木の根によるいわゆる「岩割り現象」が生じ、風化が促進される。
- ④ 樹木が繁茂するに従い地表面に腐植層が形成され、雨水が浸透しやすくなる。
- ⑤ 樹木が密生しうつ閉すると下草が枯れ、侵食が再発する恐れがある。
- ⑥ 樹木の繁茂は、立入りの障害となり、のり面の変状や崩壊前兆の発見が遅れる。

6・2・3 寒冷地における管理

気象区分から、冬季の気温がマイナス 10 度以下で、積雪量が 50 cm 以上の地域を積雪寒冷地と呼び、積雪量が 50 cm 以下の地域を寡雪寒冷地として区分する。前者では雪害がその主なものであるが、後者の場合は、寒風、冷気流、土壤凍結などの害が大きい。

寡雪寒冷地の寒風害対策として、わら掛け、わら垣などを行う。また、植物の群植、混植、密植、刈込みにより枝葉密度を増加さす方法がある。これは樹木相互が共存を図る摂理を利用し、管理上もさしたる手間もかからず好ましい。²¹⁾

次に参考として、北海道における道路のり面植生の健全維持と追肥について記述する。²⁶⁾

6章 保 護 管 理

a. 播種時期が成否の鍵

- ① 牧草の生長停止温度は、寒地向け草本類では日平均気温 5 ~ 6 °C であり、生長適温範囲は 12 ~ 20 °C である。
- ② 夏季の高温時 (25 °C 以上) には生長が停滞し、夏枯れなどの障害を起す。
- ③ のり面を保護するためには、冬季までに草丈が十分に伸びることが大切で、この越冬に必要な草丈は最低 10 cm 以上である。
- ④ 北海道では春播きが理想で、5月中旬前後が最適である。実際、現場では土木工事の関連で秋播きのケースもあるが、石狩、空知、上川、胆振地方などでは、施工は 9 月 10 日を限度としている。それ以降の施工については、翌春相当量の手直し工事が生ずると予期すべきである。

b. 追肥の 4 条件

- ① 施工初年度は経過観察にとどめ、次年以降、状況によって追肥を実施するのがよい。一般に道路のり面では、2年目では本肥の残渣は見当らず、施用した肥料分は 0 になっている。このため 2 年目が追肥の第 1 回となる。追肥の必要度の見分け方は、草丈が最も生長する 7 月に、その草本類の一般値の 60 % 以下になった時とか、分けつがおよそ半分に減少した場合には、追肥が必要になる。また、葉の黄色が強くなれば危険信号であり、さらに、のり面の被覆率が 2/3 を下廻る場合も追肥を検討する。追肥は「毎年追肥」が理想である。
- ② 追肥時期は 6 月中旬から 7 月上旬が最適であって、真夏日の続く 7 月中旬から 8 月上旬はなるべくさける。やむをえず追肥する場合には施肥量を少なぐするとよい。
- ③ 追肥の年間必要量は下記の範囲内であると思われる。

窒素… 8 ~ 40 g/m², リン… 10 ~ 45 g/m², カリ… 8 ~ 30 g/m²

この量は牧草の生理にあわせて数回に分けて施用するのが望ましいが、道路のり面では 1 年 1 回の施用が現実性を持つ。この年 1 回の場合は、濃度障害を起さぬ範囲となり下記のようになる。

窒素… 10 ~ 20 g/m², リン… 10 ~ 25 g/m², カリ… 10 ~ 20 g/m²

なお、北海道では火山灰土壤が多く、リン酸の多い肥料を薦める入が多いが、これは本肥で考慮する方が良い。

6章 保 護 管 理

④ 追肥の施用法としては、手播き、水溶液散布、圧縮空気利用の吹付、客土散布、穴・段切追肥法などがある。その中で均一散布が可能で効率的な圧縮空気利用の吹付工法が望ましい。

あとがき

最近、道路建設や都市開発にともなう緑化技術の進歩はめざましいものがある。このことは、個々の緑化技術の進歩もさることながら、工事の設計段階で自然との調和と防災的見地から緑化を配慮していることによるものと考えられる。

本書は、「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」として、たい積場の緑化に関する事項をまとめたものであり、使用済のたい積場が自然の植生と一体化し、地山化することを最終目標にしている。言いかえれば、たい積場自体が安定し、周辺の自然植生と調和のとれた緑が維持され、長い年月を経過した後には、一見したところたい積場の存在そのものがわからないという状態を目指している。

本手引書では、施工の経済性と生態遷移を念頭において、たい積場の緑化について記述したが、①自然の生態遷移 ②浸透水減少対策としての適正な覆土厚さについてはふれていない。①に関しては、本書に引き続き「たい積場の緑化と生態遷移（仮称）」をとりまとめ、たい積場における生態遷移の実態についても明らかにするので、これを参考にしていただければ幸いである。②に関しては、今後の検討成果が待たれるところである。

最後に、本書の刊行が契機となって、広く技術的な検討がなされ、鉱害防止の新技術がより発展することを願うものである。

図表一覧

図- 2.1	暖かさの指数による等温線	5
図- 5.1	ラウンディング	26
図- 5.2	のり面勾配と緑化基礎工基準	32
図- 5.3	斜面勾配と植生の量	39
図- 5.4	植生構造と斜面の安定性	39
図- 5.5	花崗岩土壌, 赤色洪積層土壌, 黒色腐植質土壌の緩衝曲線	49
図- 5.6	硫黄鉱山たい積物の pH の推移 (松尾鉱山)	50
図- 5.7	土壤硬度と根系の発達	51
図- 5.8	土壤硬度と K 31F の生長	52
図- 5.9	国際法による土性名の決め方	67
図- 5.10	市販材料の乾燥防止効果	74
図- 5.11	拡水溝の例	76
図- 5.12	拡水溝を設けた綠化工断面例	76
図- 5.13	平均気温からみた施工適期	83
図- 5.14	鉱山別・牧草別の生育状況	91
図- 5.15	土壤深度と根系生長量	102
図- 5.16	根系量とせん断強度	103
図- 5.17	土壤深度とせん断強度 (計算値)	104
表- 3.1	たい積場緑化の要因分類 (事前調査まとめ)	9
表- 4.1	緑化手順	12
表- 5.1	緑化用木本類の気温区分	17
表- 5.2	寒冷地向き緑化用草本類	18
表- 5.3	暖温地向き緑化用草本類	18
表- 5.4	緑化用牧草の特性と播種期	19
表- 5.5	緑化用の在来種 (草本類) の特性	20

表－5.6	緑化用の在来種(木本類)の特性	22
表－5.7	緑化用の外来種(草本類)の特性	24
表－5.8	盛土の標準斜面勾配例	27
表－5.9	切取り標準斜面勾配例	28
表－5.10	勾配と流出土の関係	29
表－5.11	侵食を受ける流速限界	30
表－5.12	月別の土壤流出量	30
表－5.13	各地土地利用別の土壤侵食率	31
表－5.14	落葉層の有無による表面侵食の比較	31
表－5.15	地被状態別浸透能の比較	31
表－5.16	市販の各種ネットの降雨侵食防止効果	33
表－5.17	緑化試験実施たい積場概要	34
表－5.18	たい積場緑化における被覆材施用試験(妙法鉱山)	35
表－5.19	たい積場緑化における粗朶被覆試験(小杉沢鉱山)	36
表－5.20	たい積場の覆土厚さの目安	41
表－5.21	覆土及びたい積物の改良方法	42
表－5.22	覆土厚さと牧草の生育について	44
表－5.23	いろいろな土壤の透水係数	53
表－5.24	透水係数の区分及び土質	53
表－5.25	たい積物の耕耘による牧草の生育状況(大正西又鉱山)	54
表－5.26	土壤改良剤の種類と性質の例	56
表－5.27	侵食防止剤の例	57
表－5.28	侵食防止剤の用い方	57
表－5.29	スライムたい積場における土壤改良剤施用試験(妙法鉱山)	58
表－5.30	スライムたい積場における土壤安定剤施用試験(妙法鉱山)	60
表－5.31	植栽当年の施肥基準量	62
表－5.32	肥料の種類と特質	63
表－5.33	土壤と施肥の要点	64
表－5.34	土壤粒子の大きさの区分	66
表－5.35	日本農学会法による土性区分	66

表－5.3.6	たい積場における牧草播種試験（播種量について）	82
表－5.3.7	外来種の草本類の播種時期	84
表－5.3.8	草本の種類と施工時期	85
表－5.3.9	我が国各地の月別気温と降水量	86
表－5.4.0	たい積場における牧草の播種時期と生育の関係 （大正西又鉱山）	87
表－5.4.1	生育型による混播の組合せ例	89
表－5.4.2	たい積場周辺で採取した在来種の草本類種子の播種試験 （松尾鉱山）	90
表－5.4.3	たい積場における牧草の越冬後の生長（松尾鉱山）	98
表－5.4.4	たい積場における牧草の越冬後の生長（大正西又鉱山）	99
表－5.4.5	たい積場における牧草の越冬後の生長（妙法鉱山）	100
表－5.4.6	たい積場における在来種の苗木植栽試験（松尾鉱山）	106
表－5.4.7	たい積場における挿木植栽試験（松尾鉱山）	107
表－5.4.8	たい積場における挿木植栽試験（大正西又鉱山）	108
表－5.4.9	たい積場における株植植栽試験（松尾鉱山）	111
表－5.5.0	たい積場における株植植栽試験（大正西又鉱山）	112
表－5.5.1	礫被覆工による牧草試験（小杉沢鉱山・妙法鉱山）	116
表－5.5.2	礫被覆工が周辺植物の侵入に及ぼす効果試験 （大正西又鉱山・妙法鉱山）	117
表－5.5.3	消化汚泥施用による周辺植物の侵入に及ぼす効果 （松尾鉱山）	120
表－5.5.4	消化汚泥混入後の侵入植物の種類の変遷（松尾鉱山）	120
表－5.5.5	消化汚泥混入と土壤性質の関係（松尾鉱山）	121

引用及び参考文献

- 1) 近藤三雄他：緑化用植物の耐干（乾）性に関する実験的研究
緑化工技術 第9巻 第1号 1982
- 2) 斜面緑化研究会：斜面緑化研究 第1集 1979
- 3) 採石ハンドブック編集委員会編：採石ハンドブック 技報堂 1976
- 4) 道路緑化保全協会：自然公園における法面緑化基準の解説 1982
- 5) 倉田益二郎：緑化工技術 森北出版 1979
- 6) 日本材料学会：斜面安定工法指針と解説（抄）
- 7) 土質工学会：緑化・植栽工の基礎と応用 1981
- 8) 岡本春夫：農家の土壤学 農山漁村文化協会 1960
- 9) 倉田益二郎：緑化工概論 養賢堂 1959
- 10) 和田安彦：森林緑地の水質保全機能とその評価
用水と廃水 第20巻 第8号 1978
- 11) 高橋啓二：植生の保全と管理 1978
- 12) 紅大貿易株編集部：緑化ニュース 1969
- 13) 小橋澄治：のり面緑化 地質と調査 通巻第12号 第2号 1982
- 14) 橋本 武：酸性土壤と作物生育 養賢堂 1982
- 15) 植物栄養・土壤・肥料大事典編集委員会編：植物栄養土壤肥料大事典 養賢堂 1976
- 16) 日本道路協会：道路土工——のり面工・斜面安定工指針 1979
- 17) 農業土木学会編：農業土木ハンドブック 丸善 1973
- 18) ライト工業：のり面緑化（パンフレット）
- 19) 道路緑化保全協会：道路緑化の実務・緑化工編 1981
- 20) 塙 隆男：苗畑施肥と林地肥培 地球出版 1973
- 21) 道路緑化保全協会：道路緑化の実務 植栽編 管理編 1981

- 22) 東京通商産業局石灰石鉱山緑化対策研究委員会：石灰石採掘跡地緑化技術
指針 1982
- 23) 東興建設：東興式植生工法（パンフレット）
- 24) ライト工業：キャトルバン工法 技術資料 1981
- 25) 斜面緑化研究会：斜面緑化研究 第2集 1980
- 26) 加藤 齊他：北海道のり面植生の健全維持と「追肥」・道路と自然
第37号 1982
- 27) 金属鉱業事業団：緑化対策関係調査報告書
- | | |
|---------------------|------|
| 小杉沢鉱山調査報告書 | 1977 |
| 旧下北川内鉱山調査設計報告書 | 1977 |
| 昭和51年度鉱害防止技術調査研究報告書 | |
| 植栽試験（松尾鉱山、大正西又鉱山） | 1977 |
| 昭和52年度鉱害防止技術調査研究報告書 | |
| 植栽試験（大正西又鉱山、松尾鉱山） | 1978 |
| 幌別硫黄鉱山における植栽試験報告書 | 1978 |
| 昭和53年度 与内烟鉱山調査報告書 | 1979 |
| 昭和53年度鉱害防止技術調査研究報告書 | |
| 植栽試験（松尾鉱山、大正西又鉱山） | 1979 |
| 昭和55年度鉱害防止技術調査研究報告書 | |
| 植栽試験（妙法鉱山） | 1981 |
| 昭和56年度鉱害防止技術調査研究報告書 | |
| 植栽試験（妙法鉱山） | 1982 |

捨石・鉱さいたい積場緑化の手引

昭和58年12月 初版発行

平成7年3月 再版発行

発行 金属鉱業事業団

〒105 東京都港区虎ノ門一丁目24番14号

電話（3503）2801（代表）

印刷 合同印刷株式会社

〒108 東京都港区芝5-19-5

電話（3451）2181（代表）

