

斜面急速緑化工法に関する研究 I

——タネ吹付工法を中心とする基礎的実験——

新 田 伸 三
小 橋 澄 治

Studies on the Rapid Stabilizing Method by
Seeding for Cut and Filled Slopes. I

Shinzo NITTA
Sumiji KOBASHI

目 次

はじめに……………	199	2. 養生剤について……………	217
1. 芝草の発芽について……………		2-1 各養生剤の芝草発芽に及ぼす影響……………	219
—水分問題を中心として—……………	201	2-2 蒸発抑制効果……………	220
1-1 各芝草の発芽傾向……………	203	2-3 アスファルト乳剤の侵食防止作用……………	223
1-2 発芽と温度……………	205	2-4 アスファルト乳剤被覆と芝草の生長……………	223
1-3 発芽と水分……………	206	2-5 カチオン系アスファルト乳剤……………	
1-3-1 芝草の吸水曲線……………	207	— NaCl 濃度と発芽—……………	224
1-3-2 吸水力……………	210	2-6 ま と め……………	225
1-3-3 水分不足による発芽障害……………	212	Summery……………	225
1-4 ま と め……………	217		

はじめに

われわれが斜面緑化工に関心を持つようになったのは、産業発展と共に急速に盛んになった道路建設、住宅団地開発などによって自然の緑が著しく破壊され斜面が裸出し風致上、保安上の要求から斜面の緑化工法の研究が各方面から要望されるようになったからである。

この要望に対してわれわれ造園の研究にたずさわる者として真剣に検討する価値が充分にあった。なぜなら現代造園の最も大きい意義の一つは人間の生活の場が急速に発展するにつれ失われつつある“自然”を人間生活の秩序の内にいかにして調和よく折込むかにあるからである。この立場に立つてはじめて造園は現代社会において積極的な意味を持つ。

“人間生活の場の拡大”の具体的現われである道路建設、住宅団地の建設、それに必然的に伴う自然破壊、そこに再び自然としての緑を持込むこと、このように考えると現在われわれ造園を研究するものにとって斜面緑化工を追求することの重要性が明らかになってくる。

斜面緑化工は造園の立場からみて風致上極めて重要な問題であるが、それ以上に治山、砂防など防災の立場からみた侵食防止という保安上の効果は今更いうまでもなく多数の研究報告がみられる。

裸の斜面を植物によつて被覆すると雨水や霜柱による侵食を防止する上で極めて効果的である。すなわち雨水はその落下による衝突力が一たん植物体によつてうけとめられ、徐々に地表に達するから雨水の衝突力を緩和するという点で効果があり、さらに植物の根によつて地表近くの土が結束されているからその流亡を防ぐ点でも効果がある。霜柱についてはとくに常緑植物であればその蒸散によつて土壤水分を吸収し、植物被覆によつて地面温度を緩和し、根系によつて土の崩落を防止する効果を持つ。いずれにしても斜面はその造成直後速やかにこれを植物によつて被覆すること―急速緑化をはかること―が必要である。

植物被覆法として一般的なのは切取面に対する張芝工、盛土面に対する筋芝工であるが、この工法の欠点は施工能率が悪く人夫1人1日20~25㎡にすぎない。また最近ゴルフ場方面に多量のシバが使用されシバは品不足の感があり、産地から遠隔のところでは、とくに夏期、輸送に伴なうロスが大きい。さらに急斜面ではその施工に困難をともしない、全面被覆に日数を要する。

近年植生盤工法と称し人工的に切芝を作り、これを斜面に張りつける工法が考案された。これは現場で一定寸法の枠に土をつめ圧縮し、タネを表面にまいた盤状の土片を作り、あらかじめ斜面に一定間隔に浅い水平溝を掘り、ここに張りつける工法であるが、ていねいに実施すれば材料のロスは最小限に抑えられ、その成績はかならずしも悪くない。欠点は張付けのための溝を掘る作業と張付作業に手数を要することで、勾配が急なほど作業は困難となる。斜面規模が大きくなると植生盤の運搬にも相当の労力が必要である。しかし植生盤製作機械（リョツカー）は比較的簡単に持ち運びができるから作業能率をあまり問題にしない山地砂防用としては大いに利用価値があると考えられる。しかし土木工事においては近年重機械が使用され施工能率が一般に高まっている。したがつて斜面はその造成直後なるべくすみやかに緑化する必要があるとすれば、斜面保護工法もまた土木工事施工能率に見合う能率をもつものでなければならない。土木工事が急速に進むのに斜面処理が能率の悪い方法で施工されていたならば、斜面は裸のまま放置される期間が長くなり、必然的に侵食崩壊を発生することとなる。一たんガリを発生したならばそこを植物被覆するにも、あらためて斜面の切直し、土坡打直しを行なわねばならず、工費のロスとなる。

われわれは以上の事柄を前提としていくつかの工法を考え、試験施工をした結果、タネ吹付工法が最も有力と考えられたので、その研究を發展さすことに力をそそいだ。

この工法は泥状土に芝草種子、肥料をまぜセメントガンによつて斜面に吹付ける方法で作業能率がよく最近の機械化された土木工事に追付けるだけの規模の大きさとスピードを持ち、芝草による全面被覆と早期緑化に威力を発揮する。

したがつて以下に論じられるのは今までにいくつか考えられ、又今後考えられるであろう斜面急速緑化工のうちタネ吹付工法が中心である。しかし基礎実験のデータのいくつかは芝草播種によつて行なわれる緑化工一般に対しても意味を持つと思われる。

この工法の研究は造園学研究室で昭和33年4月より始まりすでに3年を経過した。ようやくはじめの暗中模索の状態から脱して各地での試験的的施工によつてこの工法の欠点、改良すべき点が明らかになり、その改良のために必要な基礎実験もかなり積み重ねられ、いくつかの改良工法も考えられた。ここに今までの成果を一応総括するわけであるが、われわれの芝草について、急斜面の諸因子についての知識は非常に乏しく全ての斜面を完全に緑化する技術の完成にはほど遠い。ここでは客観的にこの工法を反省し、問題点を見出し、その解決への努力である実験結果をならべ、残されたものは今後のわれわれへの課題として整理した。

Iでは工法の裏付けとなるべき基礎実験結果をのべ、IIでは施工試験結果をのべる。基礎実験は勿論施工法決定の裏付け、その改良を見出すため行なわれたものであるが施工側から持込まれた問題を全て解明出来たわけではない。むしろ急テンポで進む道路、用地開発でこの問題の早期解決を望む現

場からの要望により施工法は多くの推測と仮定の上に先に決定され、基礎実験がその裏付けで追われているのが現状で、その裏付けが特に重要とみられる問題に集中的に行なわれた。今後更に基礎実験の進行と共に施工上合理化すべき点、改良すべき点が明らかになるであろう。今後も基礎実験と施工試験は常に相互に密接な連絡をとりつつ研究を進めることがよりよい施工法を生み出す源となるであろう。

さてタネ吹付工法がわれわれの研究の中心であつたために基礎実験の方向は芝草種子の発芽期の生長にしばられた。なぜならタネ吹付工法は芝草種子を播種して行なうためその発芽期の生長如何がこの工法施工の成否の第一のキーポイントを占めるからである。これはまた施工試験の結果から解決すべき課題として基礎実験にまかせられる問題が現在の段階ではほとんど発芽期の生長をめぐる問題であるからでもある。

裸出した斜面という悪条件下で播種された芝草が発芽障害をうける最大の原因は水分不足である。したがって基礎研究の中心は、

- a. 芝草が発芽し植生として確立するまでどれだけの水分を必要とするか。
- b. それに必要な水分をいかに確保するか。

の2つにしばられた。第1章はaの問題を中心に論じ、第2章以下はbの問題を中心としている。

以下において芝草とは外国産牧草類、日本産禾本科、マメ科植物など斜面急速緑化に必要な草本類を指している。また発芽試験では種子根又は鞘葉が種皮の一端を突き破つたしゆんかんを発芽現象としているがわれわれとしては発芽後出来るだけ長い間の生長を見守りたいので発芽期の生長を終了するまでを問題にするように努めた。具体的には胚が種子内の養分で伸長しうるかぎりまでで外部からの養分の影響をうけぬ時期である。地上部の生長からいえば第1本葉の展開が完了し以後の生長(幼植物期)の態勢が整うまでを含んでいる。

使用した外国産牧草種子は業者より購入した。ノシバ種子は淀競馬場産、他の日本産雑草種子は京都市近郊で採取したものでいずれも使用まで2年以上経過していない。

1 芝草の発芽について —水分問題を中心として—

芝草種子は他の植物種子と同じく休眠から覚醒することによつて発芽が始まる。この休眠の原因はいろいろあるが、まず第1に植物種子はその形成後しばらくは胚自体が未熟で発芽せず、一定の後熟期間を要する。しかしわれわれが利用する外国産芝草類はこの期間が短かく1～6ヶ月でほとんど後熟を完了し発芽能力を持つようになるといわれる。

次に休眠の原因が主として種皮にあるもの、いわゆる硬実といわれるものがある。これは特にマメ科植物で問題となり、われわれの対象とする *Lespedeza*, *Birds foot trefoil*, *Clover* 類(表1-1)に大なり小なりみられる。またわが国で荒地地に第1に侵入して緑化植物として有力視されるイタドリもいちじるしい硬実的傾向を示した(図1-1)。塩酸処理で飛躍的な発芽率の増大をもたらす。禾本科植物ではノシバが硬実的傾向があるといわれる。本多氏*の実験結果にもとづいて追試を行つたが(図1-2)塩酸処理、ジベレリン100ppmで顕著な効果がみられ更にウスブルン併用によつて発芽率は一段と高くなった。これらの結果からノシバの発芽不良は単なる硬実的傾向だけでなく、内的条件にもとづく休眠がからんでいるものと思われる。

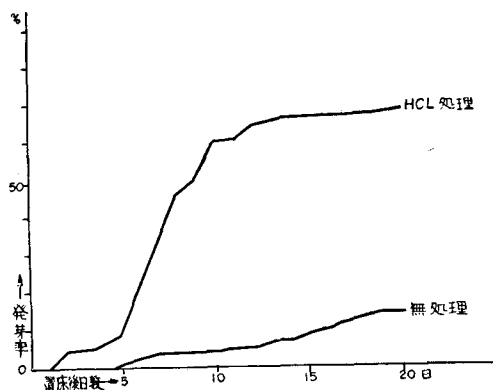
表1-1 マメ科植物の硬実度(%)

Birds foot trefoil	11
<i>Lespedeza</i>	6
Sub Clover	0

注 25°C 定温置床後14日で未吸水のもの

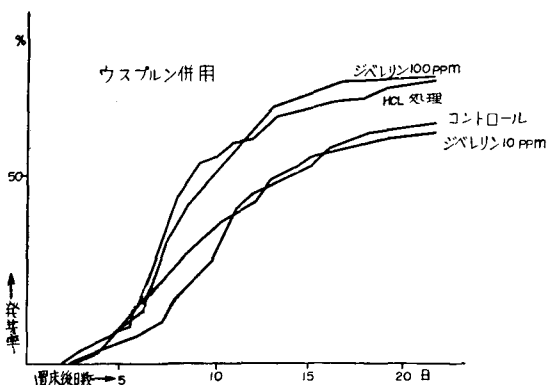
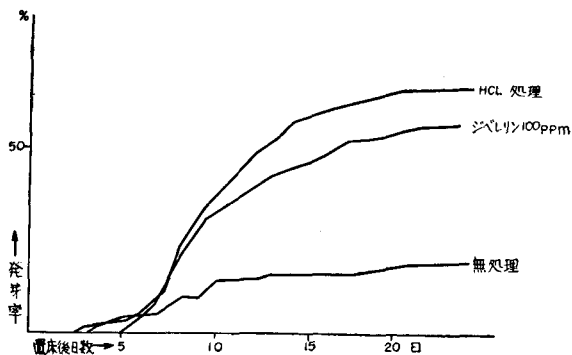
* 本多ほか造園雑誌 21—4 23—1

図 1-1 イタドリの発芽曲線 30°C 定温



塩酸処理は36.5%の塩酸に3分浸し水洗し置床した。
イタドリ種子は採取後3ヶ月のものである。

図 1-2 ノシバの発芽曲線 30°C 定温



ウズブルンは錠剤 (1.8g) メトキシエチル塩化水銀
4.2%, 水銀2.5%含有1錠を1ℓに溶解, 種子 100
粒につき1cc滴加。
塩酸処理は36.5%のHClに3分浸し水洗24時間水漬。
シベレリンは所定水溶液に24時間浸す。
無処理は24時間水漬。
種子は採取後3ヶ月。

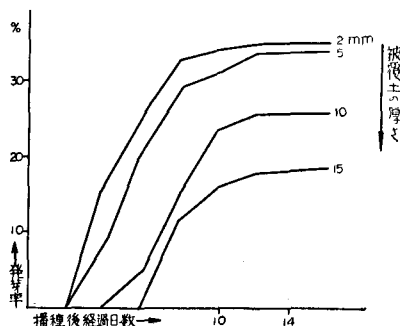
以上の種子が持つ休眠条件が失われて、発芽能力を持った芝草種子は外的条件が揃うと発芽を開始する。この外的条件のうち最も問題になるのは光線、温度、水、酸素である。芝草類、特に禾本科植物は一般に好光性のものが多いといわれる。

光線で施工上問題になるのは播種後被覆土の厚さである。Ryegrass, Orchard grass, Kentucky 31 fescue, Creeping red fescue など大粒種子のものは、発芽に最適の土壤深度は1~2cmの間にあるといわれる。したがってこれらの種類は、現在施工している1cm以下という吹付厚さで深すぎることはない。Weeping Lovegrass, Bermuda grass, Redtop など小粒種子のものはその最適土壤深度が浅い(図1-3)。1cmという吹付厚でも下層に入つた種子は発芽障害を起す。被覆土の厚すぎる害は単に光だけの問題でなく、小粒種子は貯蔵養分が少なく、幼茎が地上に出ないうちにそれを消費しつくし枯死するためといわれる。だから小粒種子の芝草は出来るだけ吹付厚さをうすくする必要がある。

温度も特に夏草系種子はその要求度が高いように思われる(後述)。この光と温度の2つの条件は別々に作用することなく組合せによつて(明期温度、暗期温度)最良の発芽率が得られる。*

酸素に対しては Ryegrass, Orchard grass, Bermuda grass, Creeping red fescue, Weep-

図 1-3 被覆土の厚さと Weeping Lovegrass の発芽。3月下旬室温



川砂使用。20%の含水率に保つ。

ing Lovegrass は水中発芽能がきわめて高いので酸素要求度は低いと考えられ、施工上問題になることは少ない。

温度は施工適期を定める上に重要であるが、時期はずれの時に施工すること以外に温度による失敗はないであろうし、発芽の最低最高温度をつかむことで充分と考えた。

われわれが最も問題にしないのは先にのべた通り水分であり、発芽と水分の関係の解明に重点を置いた。

1-1 各芝草の発芽傾向

各芝草種子はそれぞれ固有の発芽傾向を持つ。それは当然発芽条件によつて異なるし、芝草種子の産地採取後の経過日数によつて異なるであろう。しかし条件を一定にすれば同一種の芝草種子なら同様な発芽傾向をうかがうことが出来る。この工法での発芽傾向の意味を理解しようとするとき最終発芽率の値は勿論それを知ることは重要であるが重大な因子とはならない。なぜならその発芽率の高低は播種量を調節することで必要量の発芽を得ることは容易だからである。それよりも急速緑化工法にとつて重要なのはいかに早く数多く発芽するかということで発芽勢の強さが問題となる。

これを見るために種子を発芽床に置いてからの日数と発芽の関係を芝草について調べた。勿論のちにのべるようにこれは加水量、温度によつて傾向は変化するが定温一定加水量によつてみた。

この調査のための実験は、1種類400粒とし、定温器で温度を一定に保ち、水分は9cmの直径を持つシャーレに濾紙3枚をしき飽和状態に保つた。定温器内に光源はなかつた。毎日一定時間に発芽を記録した。その結果を検討すると、次のタイプにまとめられる。(図1-4a, 1-4b)

A型；置床後2～3日の間に発芽すべき種子の90%以上が発芽を終る。それには禾本科の Ryegrass, Kentucky 31 fescue, Weeping Lovegrass, マメ科の Lespedeza, Birds foot trefoil, Sub Clover が含まれる。

A'型；置床後1週間あるいは10日後から発芽を開始し、その後発芽のピークがあり割合短期間で発芽を終る。これには Carpetgrass, Kentucky blue grass, 日本産雑草ではナギナタガヤ、カラスムギ、イヌムギなどである。

B型；置床後1週間ほどの間に発芽が平均して続き発芽を終る。それには Orchard grass, Creeping red fescue, Bermuda grass がある。

C型；置床後バラバラと発芽が続き発芽のピークらしいものがなく、長期間にわたつて発芽がみられる。シバ類、多くのわが国雑草類はこれに属するという。

急速緑化工の立場からみれば A→B→A'→C の順で不利である。種子発芽を出発点とする急速緑化工を対象とするかぎり使用出来るのは施工実績から判断しても A 型、B 型に属するものだけであろう。A' 型、C 型に属するものは休眠期が過ぎていない種子、硬実的傾向のある種子を多く含むらしく麥温化学処理で急速に発芽が高まることがある。B 型のものでも例えば Creeping red fescue は発芽の遅さが成績不良の危険性を高めるのが欠点となつており、それだけ充分な養生を行なう必要がある。

図 1-4a 芝草の発芽傾向 (1)
いずれも 20°C 定温

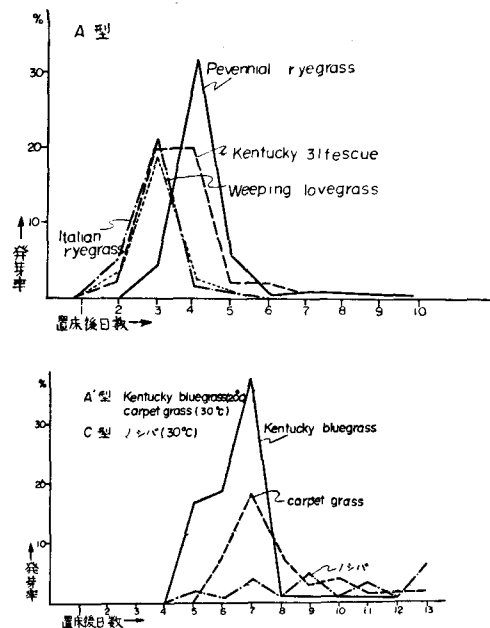
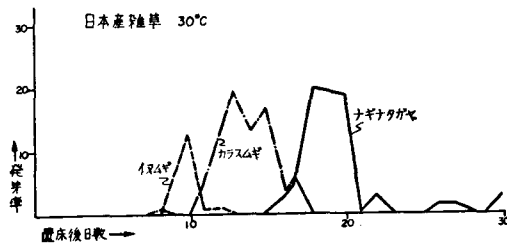
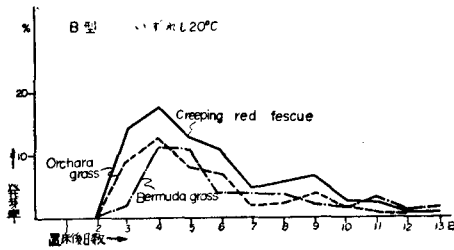


図 1-4b 芝草の発芽傾向 (2)



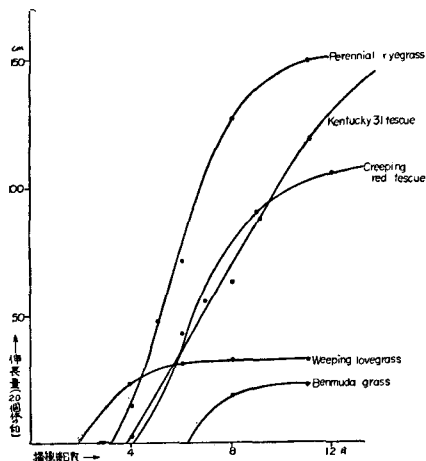
ち種子の含有する養分が消費しつくされたわけで土壤中に養分がないとそれ以上の生長が出来ない。

この第1本葉が完成するまでの生長速度が早いほど発芽スピードが早いわけで発芽を完成し幼植物期に入り、土壤養分の吸収が始まり強力な生長を開始する態勢が早期に整えられるわけである。斜面急速緑化工法ではこの発芽期の過ぎる速度が早いほど望ましい。

500cc入りガラス容器に粒度径0.25~0.85mmの川砂を40g入れ、水分を15%に保ち、20粒の種子を播種して室温（7月上旬から中旬）室内光の条件で数種の芝草を発芽せしめその発芽速度をみた。（図1-5）

発芽速度、すなわち発芽開始後第1本葉がのびきるまでの時間は Bermuda grass, Weeping Lovegrass, Creeping red fescue, Perennial ryegrass, Kentucky 31 fescue の順序であとのものほど長くかかる。これは種子の小→大の順で小粒の種子ほど含有する養分が少なく早く消費されることを意味する。

図 1-5 芝草発芽期の生長比較



地上部伸長量
6月30日播種 室温、室内光

日本産雑草はほとんど発芽勢からみて何らかの処理なしに使用可能なものは発見されていない。

この発芽傾向は条件によつてかなり変化する。例えばB型の Bermuda grass は高温下ではA型に近づく。A型のものも低温下ではB型に近づく。又加水分によつても変化する。この性質をよく把握して施工期の選択、前処理により出来るだけA型に近づける努力を必要とする。

次に発芽期の生長が終るまでの各芝草の生長速度を比較した。

芝草種子を十分な水分を含んだ川砂中に播き必要な温度を与えると発芽を開始し種子に含有する養分が許す範囲まで生長を続けたのち休止する。その生長は第1本葉を完成するまでで、発芽期の生長は第1本葉の伸長の度合に最も顕著に現われる。そして第1本葉が伸長しきると地上部地下部とも生長が停止し、その重量も増加をみない。即

する。Bermuda grass, Creeping red fescue は置床後発芽開始にいたるまでの期間が長いので（この2種の芝草は発芽が一齊に行なわれないのでこの実験では多数の種子を発芽せしめそれを実験ポットに移し生長せしめた）この点を割引いて播種後の日数から数えると Weeping Love grass, Perennial ryegrass, Kentucky 31 fescue, Bermuda grass, Creeping red fescus の順序になり試験地の試験結果と一致する。

急速緑化工の立場として、播かれた芝草が出来るだけ早く大きくなり“緑”そのものが増加することが望まれる。“緑”の増加速度という点から考えると図1-5の曲線が早く高くなるのがよい。この速度からいえば Weeping Lovegrass が初め最も早いが Perennial ryegrass が追越し、のちに Kentucky 31 fescue がそれらを追越す。Creeping red fescue, Bermuda grass はずつと遅れる。この図の曲

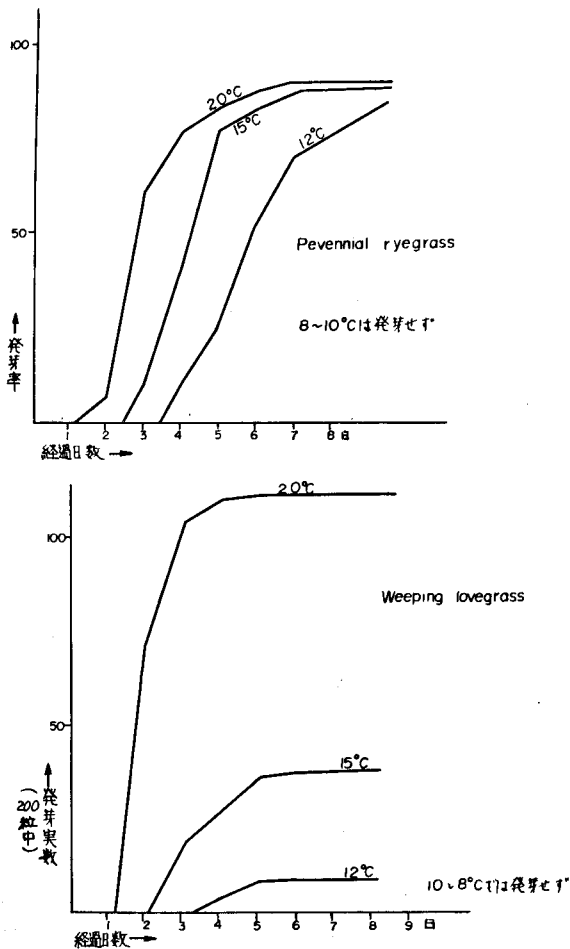
線が到達しうる高さ、すなわち種子養分のみでなしうる緑化量は種子の大きさの順序に一致しているのは当然であろう。早く大きくなることはそれだけ早く外的悪条件から生命を守る抵抗力がついてくるわけで、この意味では大粒種子の芝草の方が発芽期での抵抗力が強いわけである。一般に夏草系の芝草はその種子が小さく秋播きすると大きくなぬうちに寒さを迎え全滅する危険性が大きい。

1-2 発芽と温度

われわれが発芽条件を考えるとき温度因子は施工適期を決定する上の問題として考慮する必要がある。われわれが主用する禾本科植物は発芽の最適温度は高温のことが多いといわれる。近年最適温度を決定する場合変温の効果が注目され定温度ではみられない発芽率の向上がみとめられて来た。この場合光条件との相互作用が明らかになりつつある。このことは温度が単に休眠を終了した種子を発芽にいたらしめる条件であるだけでなく休眠覚醒条件としても働いていることを示している。現実の発芽床ではこの両作用が混合して作用しているとみられる。

まず低温の場合の発芽現象が起りうる限界温度をみた。冬草系芝草として *Perennial ryegrass*、夏草系芝草として *Weeping Love grass* を用い定温器（有光）によって低温限界を調べた。温度条件以外（水分、光線）の条件は同一である。（図1-6）

図1-6 低温と芝草の発芽



その結果をみると *Perennial ryegrass*, *Weeping Lovegrass* 共発芽における低温限界は10~12°Cにあるとみられる。いずれも温度が高くなるにつれ発芽勢は強くなる。冬草 (*Perennial ryegrass*) ではそれ (限界温度) までの温度低下では発芽勢を減じるが最終発芽率への影響は少ない。発芽能を持つものは発芽するがその反応がかんまんて発芽現象の時間が長くなる。限界温度まででは温度低下が発芽不能の絶対的条件にならない。全ての種子がほとんど等しい温度限界を持つわけである。つまり温度が休眠覚醒条件を意味せず発芽条件のみになっている。

夏草系芝草 (*Weeping Lovegrass*) では勿論限界温度までの温度低下で発芽勢を減じるがそれよりも最終発芽率の低下がいちじるしい。このことは *Weeping Love grass* 種子は高温になるにつれ多数の種子が休眠から覚醒してくると考えられ温度が休眠覚醒の外的条件として意味が大きいことを示している。

これは又 *Weeping Love grass* の高温処理による発芽への影響にもみられる。

28°Cの発芽床（室内光）に24時間置いたのち40~60°Cの高温下に24時間置き再び28°Cにもどし発芽状況を見た。置床後7日の結果でコントロールは28°Cに置床のままである。水分、光線条件は同一である。（表1-2）

続いて同じ *Weeping Love grass* を28°Cの

表1-2 Weeping Love grass の高温処理
(1)

区 名	発 芽 率
コ ン ト ロ ー ル	49%
40°C 処 理	70
50°C 処 理	0
60°C 処 理	0

50°C 処理は発芽現象は見られるが伸長しなかった。

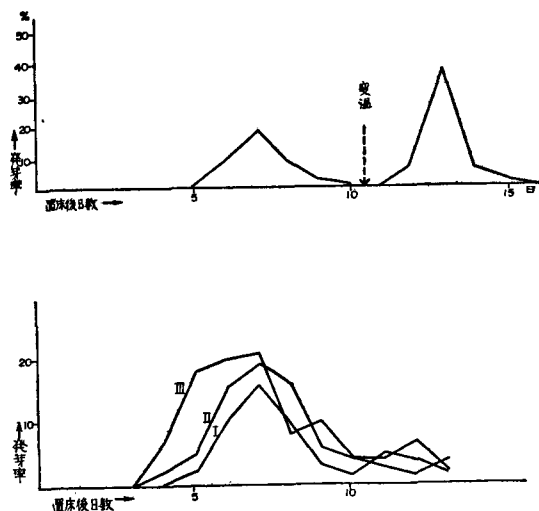
表1-3 Weeping Love grass の高温処理
(2)

区 分	発 芽 率
コ ン ト ロ ー ル	51%
2 時 間 処 理	} 0%
4 時 間 処 理	
6 時 間 処 理	

種子と不完了で変温でようやく覚醒する種子が混在していることを示す。(図1-7)

いずれにせよ芝草の発芽、特に夏草系の芝草はかなり高温でよく発芽する。それで発芽だけを考え

図 1-7 Carpet grass の変温による発芽促進



定温は30°C 変温は10~15°C 12時間
全部有光である。

上図は10~11日の間に変温

下図 I: 置床後1日目に变温

II: 置床後2日目に变温

III: 置床後3日目に变温

発芽床に24時間置きその後50°Cとして処理時間を変えた。(表1-3)

この実験はアスファルト乳剤を養生剤にした場合その黒色のため太陽輻射熱を大量に吸収し発芽床温度が非度にも高くなるおそれがあり、その影響をみるために行つたものである。

この2回の実験により夏草系 Weeping Love grass は40°Cまでの変温は発芽促進の効果があること、50°C以上ではその処理時間が短くても致命的な結果をもたらす。

変温効果は国見、永沢氏* はそれと光効果を組合せRed top, Bentgrass 類, Bermuda grass に発芽率の向上をみている。変温効果は好光性種子に一般にみられる性質といわれ変温が露光の代用になるともいわれる。われわれの実験では Carpet grass がいちじるしい結果を示した(図1-7)。Carpet grass は定温(30°C)では発芽率は50%前後に止まつたが1時10°C~15°Cの低温にすると残りのほとんどの種子が発芽し80~90%まで発芽率が高まる。この効果は置床後のちになるほど大きく齊一な発芽を得られるようになる。これは明らかに休眠を完了した種子と不完了で変温でようやく覚醒する種子が混在していることを示す。(図1-7)

いづれにせよ芝草の発芽、特に夏草系の芝草はかなり高温でよく発芽する。それで発芽だけを考えると夏の高温の時期に播種すればよいことになるだろう。しかしそのような高温では発芽後の芝草の生長がよくない。これはほとんどの芝草はその生育の最適温度が20~25°Cにあることと、高温下では水不足が問題になるため播種後の旺盛な生長によつて早期の緑化を図るにはむしろ播種期をその後の生長最適温度にもつていくべきである。なぜなら20°Cと30°Cとの発芽勢の差は同温度間の生長の差に引合うほどいちじるしくないからである。このように考えると発芽最適温度を追求することはそれほど意味がなくいちじるしく発芽不良をきたす温度の限界を知つておく程度で充分であろう。

1-3 発 芽 と 水 分

斜面急速緑化工で芝草の発芽成績上最も影響するのは水分である。水分はほとんど降雨と地下水という自然の力に依存せざるを得ない。このことは工法の成否の大きい要因として施工後降雨があるかどうかということがあげられることでも明らかである。

種子発芽に要する水分は土壤に含まれる水分によつて供給される。Perennial ryegrass

では発芽現象自体には水中発芽が可能であるから水分が多すぎることはない。

容積500ccのポットに、最大含水率25%の砂を入れ、それぞれの含水率を一定に保ち Perennial ryegrass を20粒播種し生長をみた。温度は室温（8月上旬）室内光である。（図1-8）

この結果をみると発芽後しばらくは含水率の高いものほど伸長は旺盛であるが日数を経るにしたがつていわゆる植物生育最適含水量（飽和含水量の60～70%）

といわれる含水率を与えたものの生長が盛んとなり山形のカーブになる。この傾向はどの芝草にもみられる。

即ち発芽開始期、その直後の生長には水分は多いほど急速な生長を示す。しかししばらくすると根系の発達と共に水分のほかに酸素の要求度が高くなり、それが生長の制限因子として働いてくる。

このように発芽に要する水分は土壤から与えられるが、まず芝草種子と水分の直接的な関係のみてみる。

1-3-1 芝草種子の吸水曲線

種子を発芽床に置き充分な水分と温度を与えると種子は吸水を始める。（図1-9）まず置床後数時間前後で急激な吸水をみせる。これを第Ⅰ期とする。この吸水量で鞘葉、幼根が活動しはじめるに充分である。この吸水が終ると含水分が一定のままで変動のない時間が数十時間つづく。この期間は鞘葉幼根が活動をはじめてからそれらが種皮からわずかにのぞく時期までである。一般にいわれる種子の吸水量とはこの時期の含水量を指すものと思われる。種子吸水量は温度、加水量によつて異なるが測定した範囲では表1-4の通りである。この第Ⅱ期が終ると鞘葉、幼根が種子から出て旺盛に伸長を開始し吸水量は急激な増加をみせ（第Ⅲ期）発芽が終了する。

これらの期間内での種子の乾物重（風乾）の動きをみるとその値は時間経過にしたがつて低下する。（表1-5）これはもちろんこの期間では生長エネルギーを種子が貯蔵している養分から得ているためその減少が現われるからである。

吸水曲線は当然与えられる水分量、温度、芝草の種類によつていちじるしい差がある。それについて

図1-8 Perennial ryegrass の発芽期の生長と土壤含水率

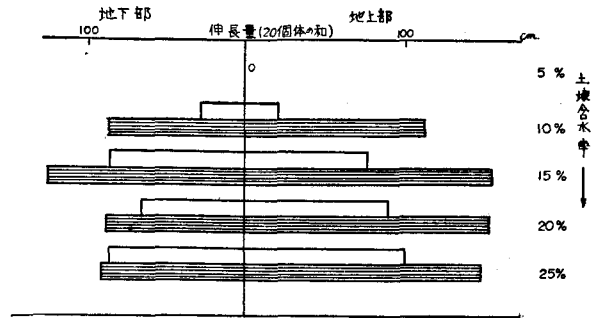


図1-9 吸水曲線の一般形

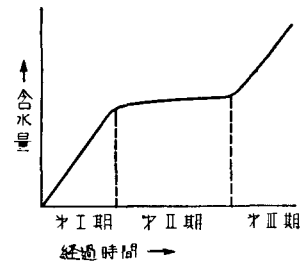


表1-4 芝草種子吸水率（風乾重との比）

芝 草 名	吸水率	温度(定温)
Perennial ryegrass	80%	20°C
Creeping red fescue	105%	20°C
Weeping Lovegrass	25%	20°C
Bermuda grass	15%	20°C
Kentucky 31 fescue	20%	20°C
Tall oatgrass	60%	25°C
Birds foot trefoil	200%	25°C
Lespedeza	170%	25°C
Sub clover	135%	25°C

注 加水量は直径9cmのシャーレに口紙3枚しき飽和まで与えた。

表1-5 Perennial ryegrass 種子の置床後時間と風乾重量の減少

経過時間	22	44	68	92	116
種子風乾重比	98.4	97.7	95.5	95.0	95.2

注 置床前重量を100とする。直径9cmのシャーレに口紙3枚をしき5cc加水した。

いくつかの実験を行つた。

実験法は発芽床として直径 9 cm のシャーレに濾紙 3 枚をしき一定量加水し定温（有光）で一定時間経過ごとに測定し、別に種子風乾重量の減少をみてそれによつて吸水率の動きをみた。

a. 温 度

一般に発芽傾向は高温になるほど早く齊一に発芽し発芽勢も強くなる。だから当然吸水曲線も変化する。Perennial ryegrass は定温器内の温度を 20°C から 30°C に上げると発芽傾向が 1 日ずつ早くなりその吸水曲線も吸水速度が早くなるため第Ⅱ期の期間が短かく直ちに第Ⅲ期に入り伸長を開始する（図 1-10）。即ち鞘葉、幼根の生長速度が早くなる。

b. 水 分 量

与えられる水分量の差の吸水曲線に及ぼす影響をみるために Perennial ryegrass を用い、直径 9 cm のシャーレに濾紙 3 枚をしき加える水分量を 1, 2, 3, 4, 6cc の各区を作り、ほかに 24 時間漬けた種子の区を設けた。この場合水温は 15~20°C である。シャーレの濾紙の飽和含水量は 4 cc あたりにある。温度は 20°C とした。

その結果をみると 1 cc 区では発芽せず、2, 4, 6cc 区及び 24 時間漬水区が比較出来た。（図 1-11）

2~4cc 区では第Ⅱ期までの曲線が一致する。第Ⅲ期になると 2 cc 区ではじめて水分不足の影響が現われる。

3, 4cc 区では全期間にわたつて曲線はほとんど一致する。

これらの事柄と 1 cc 区では発芽しなかつたことを考え合せると発芽現象を正常に行なうに必要な最

図 1-10 Perennial ryegrass 種子の温度による
吸水曲線のちがひ。

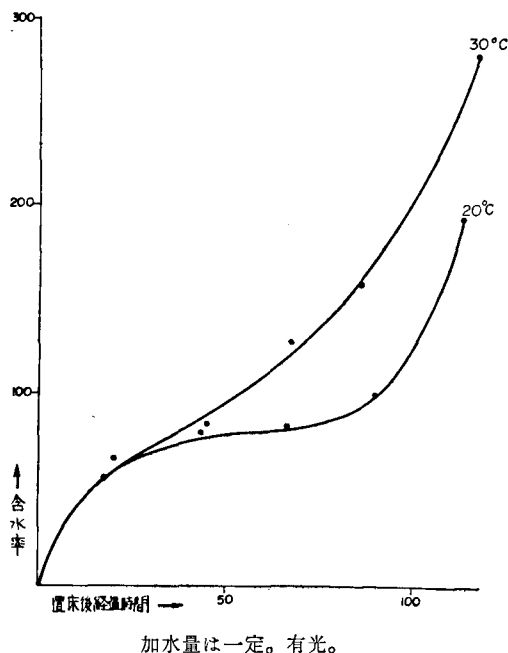
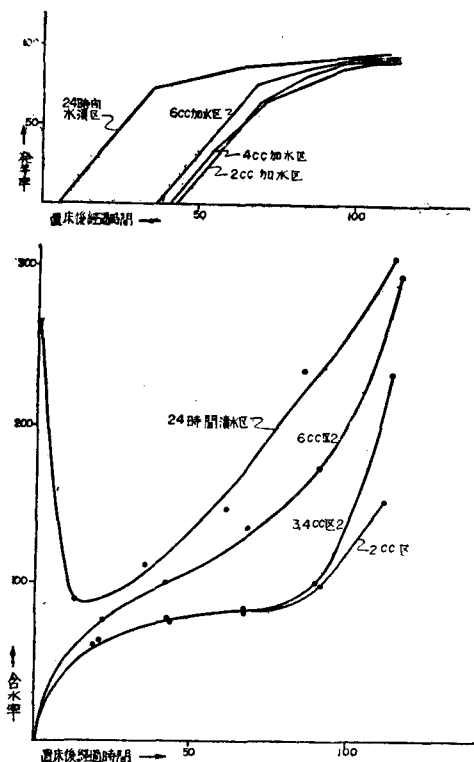


図 1-11 Perennial ryegrass 種子の加水分の
変化の発芽勢(上)と吸水曲線(下)
に及ぼすえいきょう。20°C 定温



低の吸水曲線が存在することが推定される。しかしその曲線は加えられる水分の量にそれほど敏感でなくかなりの巾がある。これは2～4 CC区の発芽曲線は一致することからも明らかでこの範囲内での加水量の変動は発芽現象に影響していない。この現象は種子吸水能が鈍感なためというより種子から極めて狭い範囲の水しか吸収に関係せず、シャーレ全体のこれくらいの水量の増加では種子吸水可能範囲では微量の水量の増加しか意味しないためであろう。このことは種子が発根して吸水可能の範囲が広がるにつれ差が出てくることから明らかである。

6 CC区では第Ⅱ期が短かく、先にみた温度を30℃にあげた場合の曲線に似る。6 CC加水するとシャーレにしかれた濾紙の飽和含水量を越え浮水を生じ種子は水に漬けられた状態に近い。この条件におかれてはじめて吸水曲線2～4 CCにみられた一定の曲線を離れる。しかしこの吸水曲線の変化の割には発芽速度の早さが顕著でないことから考えると、与えられる水分が豊富であると発芽に必要な以上の余分な水分をも吸収することがわかる。

24時間漬水した区は漬水直後計量するとその吸水量は老大で置床後数時間で余分に吸収した水分を吐き出し直ちに第Ⅲ期に入る。発芽速度もずつと早くなる。これは漬水中に発芽現象がかなり進むことを示し、いわゆる催芽現象を行なわせしめたわけである。この場合にも種子は相当量の余分な吸水を行なっていると思われる。

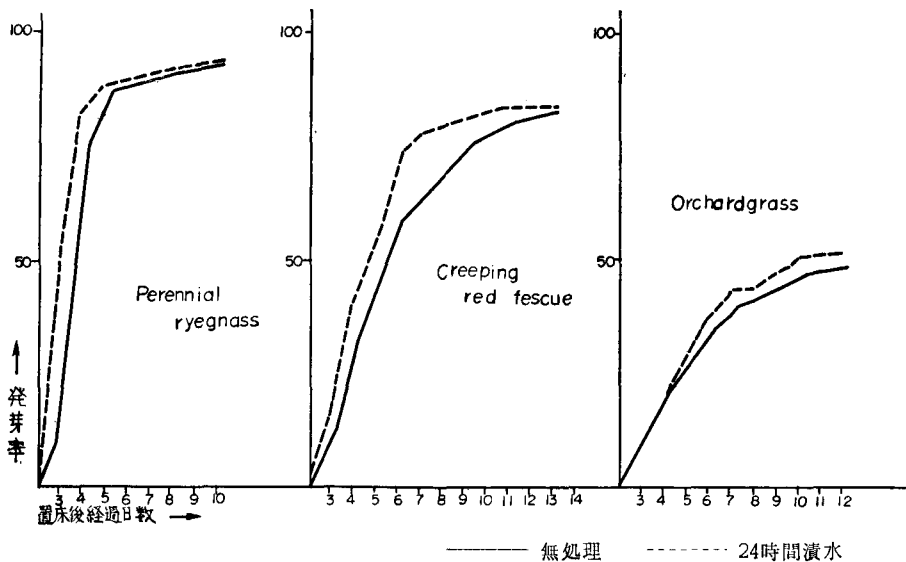
播種前に種子を水に漬け水分を十分に飽和せしめるのは発芽を齊一ならしめるために栽培植物では一般に行なわれていることである。この場合水温が高いと発芽が開始され催芽現象となる。

芝草について15～20℃の静水中に24時間漬けたのち発芽試験をした結果は図1-12の通りである。Perennial ryegrass では先にみたように無処理でも齊一な発芽傾向を有するものでこの場合はむしろ催芽が行なわれるとみるべきで発芽開始期がまる1日早くなる。

Creeping red fescue では発芽の齊一度が高まる。Orchard grass ではこの程度の漬水ではほとんど影響がない。これは種子をかこむ種皮が厚いためと思われる。

水に漬ける処理は発芽勢を強めるのに効果がある。しかし種子を水分で飽和せしめ発芽を齊一にするのはよいが催芽まで起さずのは吹付工がかなりの圧力で斜面に種子を叩きつけるので損傷を受けるおそれがある。又播種後降雨がないと催芽された種子はのちにみるように乾燥に弱くなり枯死する心

図 1-12 24時間漬水による発芽促進の効果



配もある。このように考えると発芽傾向A型のものは水に漬ける処理は不必要でありB型のものの発芽期勢を高める意味で行われるべきである。

c. 芝草の種類による差

芝草種子の吸水曲線は各種類によつても特長ある傾向を持つ。吸水分を4CC、温度20°Cとし、同一の方法で各芝草の吸水曲線を比較すると図1-13, 1-14の通りになる。ただし、Bermuda grass, Weeping Love grass は種子が小粒のため200粒用いた。

発芽傾向A型のもの(Weeping Love grass, Italian ryegrass Kentucky 31 fescue)をみると Italian ryegrass は Perennial ryegrass と同様の傾向を示し、Weeping Love grass は第Ⅱ期が明白にみられずその期間がきわめて短い。発芽態勢を整えるに低い吸水率で充分吸水すると容易に発芽する。Kentucky 31 fescue も吸水率は低くて発芽する。又吸水曲線の各期の区別が明らかでない。発芽現象は Perennial ryegrass と同じ位早く齊一であるが鞘葉、幼根の生長のはじめはゆるやかであるので吸水も他のA型の芝草ほど急激に上昇しない。

次に、発芽傾向B型のもの(Bermuda grass, Creeping red fescue)は第Ⅰ期は発芽傾向A型のものと同じ位の時間ですむが第Ⅱ期が長い。つまり発芽を開始するに必要な吸水後鞘等幼根が生長を開始し種皮をつき破るまで長時間を要し発芽が遅い。

1-3-2 吸水力

現実の種子発芽は種子が土壤に播種され土壤中に保持される水分を吸収することによつて行なわれる。土壤水分は土壤含水量及び土性によつて一定のエネルギーを持つて保持されているので、そこから種子が吸水するためにはそれだけの吸水力を必要とする。

一般に種子の水分吸収力は種々の濃度のサツカラーゼ溶液中で発芽せしめ水による発芽歩合の50%の発芽率を示したときの濃

図 1-13 発芽傾向A型の発芽曲線(上)と吸水曲線(下) 20°C 定温

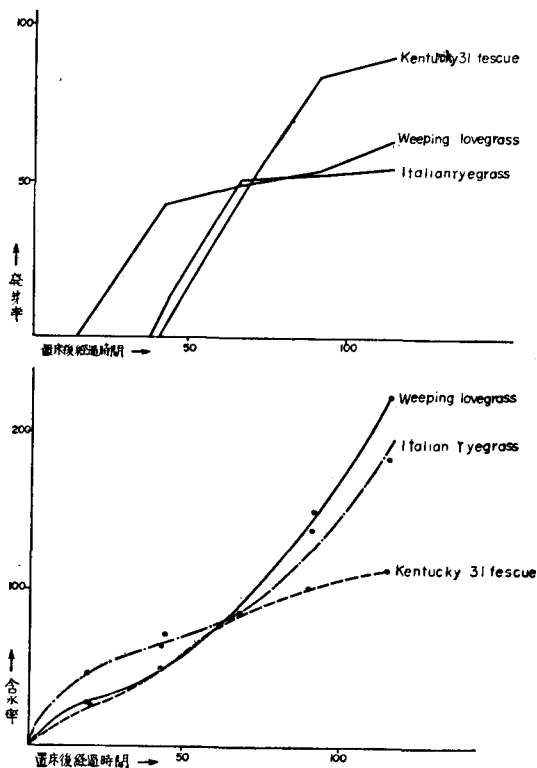
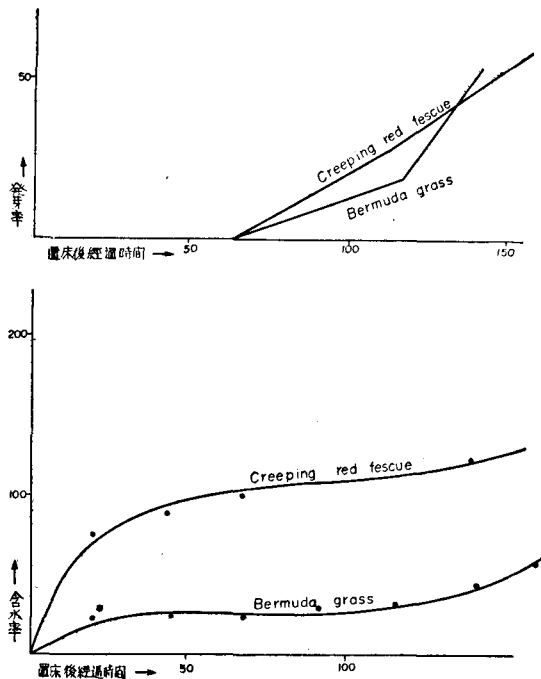


図 1-14 発芽傾向B型の発芽曲線(上)と吸水曲線(下)



度をもつて示している（中央最高吸収力）。

発芽現象における吸水力をみるため直径9 cmのシャーレに濾紙3枚ずつしき各濃度サツカロゼ溶液を5 ccずつ加え各種の芝草種子を100粒ずつ置床した。20°C定温有光下におき7日～10日でしめ切り発芽度をみた。（図1-15）

他の植物を通じての一般的傾向と同じく芝草でも大粒種子の方が小粒種子より吸収力が強い。小粒種子では0.3 mol 大粒種子は0.5 mol あたりに中央最高吸収力があり、芝草一般としてもそのあたりの範囲と思われる。

次に Italian ryegrass によつて時間と吸水量の関係によつてよりくわしくみた（図

図 1-16 サツカロゼ溶液濃度と吸水率（上）発芽曲線（下）
イタリアンライグラス

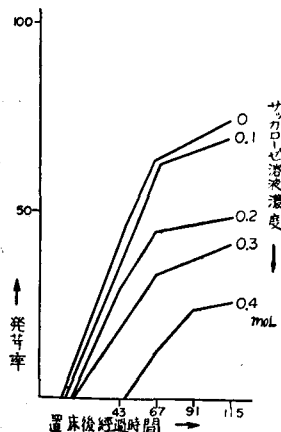
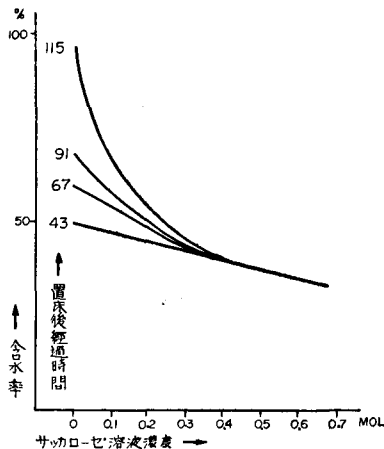
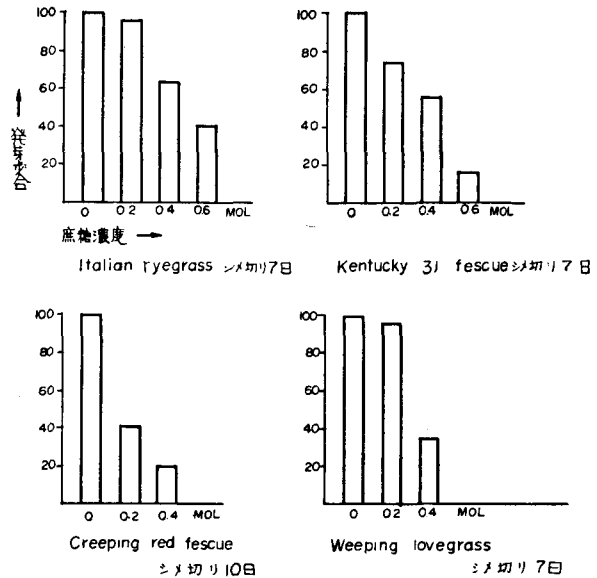


図 1-15 芝草の発芽力
20°C 定温, 0mol の発芽量を100とした。



1-16)。実験法は先と同じである。計量は100粒ごとに行ない温度は35°C定温，有光である。

更に発芽現象以後発芽期の伸長との関係をみるため直径3 cm，高さ10cmのガラス容器に各濃度サツカロゼ溶液を15cc入れ，Italian ryegrass を各20粒播種し日数別に第1本葉の伸長をみた。温度は室温（8月26日～9月4日）である。（図1-17）

この2つの実験結果から判断出来ることは，発芽の第1段階の吸水は高浸透圧下でもみられ，0.8 mol でも30%の吸水は可能であつた。これは明らかに第1段階の吸水が単なる物理的現象としての浸透圧差による水の侵入によることを意味する。

次の段階としてある程度の浸透圧差による吸水が進むと種子細胞の膨圧が高まり細胞体の吸水原因になる拡散圧差は減少する。そのため高濃度溶液下の吸水が困難となる。それは図1-16のように経過時間が長くなるにつれて吸水曲線の勾配は大きくなることで現われる。ところが単なる発芽現象には先にみたように完全な飽和水量までの水分を要しない。ある一定の水分量があれば発芽は可能である。そのため発芽曲線は吸水曲線ほどそのえいきようが敏感に現われない。種子の吸水力を中央最高吸収力として考えると0.3～0.4 mol のあたりでその点は吸水曲線でみると単なる物理的浸透現象しか起らずそれ以上の吸水量増加のみられなく

なる点と一致する。

次に発芽期の生長を行なうにはモル濃度がずっと低いことを要し、かつモル濃度の変動にずっと敏感である。

(図1-17) 即ち水中での正常な生長の $\frac{1}{2}$ の伸長量を得るには 0.2 mol であり、発芽現象を起しうるモル濃度よりずっと低く、吸水力が少ない。このことは発芽現象に比べ発芽期の生長を正常に行なうには土壤水分中の有効水分の巾がずっと狭くなってくることを示している。

1-3-3 水分不足による発芽障害

水分関係で芝草に発芽不良が起るのは発芽に要する水分が不足するということより、一たん種子が吸水して発芽を開始した種子がその後水分の供給を受けないために乾燥し枯死することの方が多し。以下には発芽期の種子の乾燥がその後の生長に及ぼす影響を調べてみた。

Perennial ryegrass は水中でも発芽がきわめて旺盛で少なくとも、第1本葉が展開するまでは正常な生長をする。

8月下旬に室温(約 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$)で水中発芽せしめ、各區ごとに経過時期、期間をかえてとり出し乾燥(室温で行なつた。約5時間で風乾され種子重量はそのあと一定となる)せしめ、再び水中にもどし、7日後にその第1本葉の伸長量を測定した。1ポット25粒とし、1區に3ポット設け、その平均値で示す。

(図1-18)

この結果をみると2, 3区は1区のコントロールに比べほとんど差がない。即ち置床後24時間後ではまだ芽が活性化しておらず再び乾燥におちいても胚への影響がない。もう一度水を与えられるとはじめと同様に生長を始める。だからこの時期では乾燥時間が長くても(3区)影響がない。

48時間吸水後乾燥をうけるとすでに胚は活動を開始しているために、その後の生長に影響が現われる。乾燥期間が短かいと(4区)一時的にその活動が停止しのちの伸長が遅れる程度ですむが乾燥期間が長くなると(5区)耐えられず半数以上枯死し、その後の生長に及ぼす影響が極めて大きい。

72時間経るとすでに鞘葉幼根が種皮を突き破つて伸長を開始しているものが大部分でこうなると乾燥は短期間(6区)でも半数以上の枯死を出す。更に長期間の乾燥をうけるとほとんどその後の伸長をみない。(7区)

96時間後の乾燥は致命的で短期間の乾燥でもほとんど枯死する。

要するに置床後時間がたつほど乾燥に対して弱くなる。しかし実際に土壤中に播種された場合種子の乾燥は土壤の乾燥に伴うことを考えると発芽を開始してからのちになるほど種子根が発達し種子の土壤水の吸水範囲は非常な速度で拡がるからそれだけの範囲の土壤が乾燥することは容易でなくなり種子の乾燥が起

図 1-17 サツカロゼ濃度と平均伸長量
地上部(イタリアンライグラス)

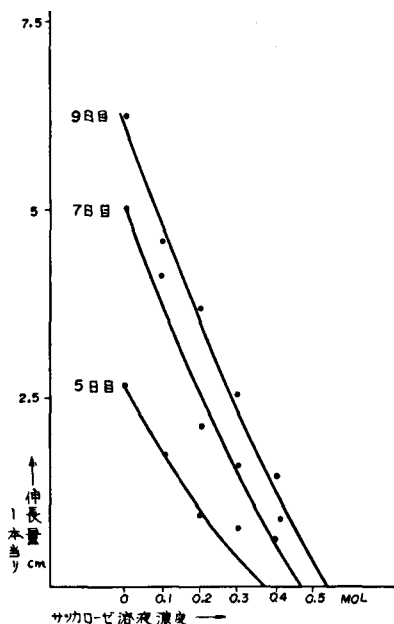


図 1-18 Perennial ryegrass 発芽期の乾燥と伸長障害

経過日数	1	2	3	4	5	6	7	伸長量(cm)	平均発芽数
1 (コントロール)								79.1	24
2								75.1	22
3								78.5	20
4								51.4	22
5								9.8	9
6								8.3	9
7								1.4	4
8								2.4	2

□ 水中期 □ 乾燥期

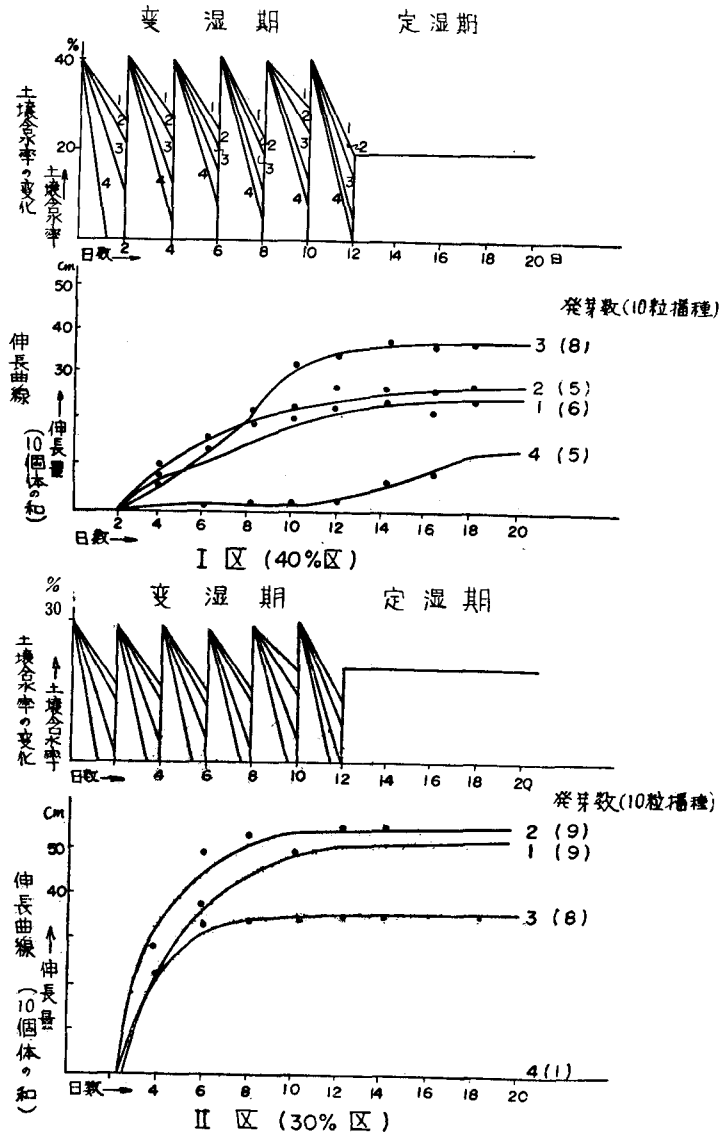
にくくなる。したがって実際の乾燥による被害はこの実験では吸水後48時間前後で幼根がまだ土壌中に伸長を開始せず、吸水範囲が増加していない頃が最も危険な時期ではないかと思われる。

発芽期の乾燥は土壌含水分の変動に伴なつて起る。どういふ土壌含水分の変動のもとで発芽が可能であるかを知るために以下の実験を行なつた。

50CC入りのポットに土壌量、加水量を変えて入れ、Perennial ryegrass, Weeping Love grass の2種の芝草を用い、それぞれ16区作り、30°Cの定温器内に置き蒸発を自由に行なわしめ2日ごとに実験開始時の条件にもどるよう給水した(図1-19, 20)。

各列(I→IV)ははじめの土壌含水率は均一であるが、土壌量に違いがあるので(1→4)同量ずつどのポットも蒸発するとしても土壌量の小さいものほど乾燥の振巾が大きいい。例えば Weeping Love

図 1-19a Perennial ryegrass の土壌含水量の変化と発芽期の生長 (1)



grass でⅠ—4区は土壤含水率40~0%までの幅の水分変動を2日ごとにくり返す。

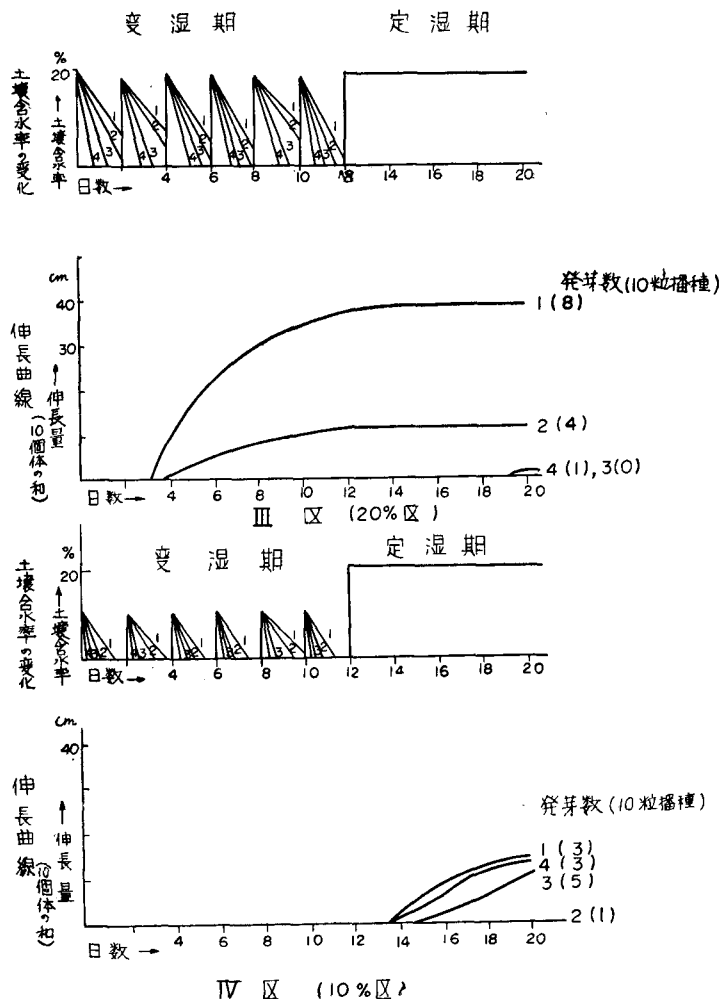
一定期間 (Perennial ryegrass は12日間, Weeping Love grass は8日間) 土壤含水率変動をくり返しそのあとはいずれも含水率20%に保つた。実験に使った土壤は最大含水率約35%のものである。定温器内の光源は5ワット電球1個である。Perennial ryegrass は1ポット10粒, Weeping Love grass は20粒播種した。1区2ポットずつ設け平均した。

生長した生長度は鞘葉から第1本葉が伸び切るまでを含む。まず水分を20%に固定するまでを考える。

Perennial ryegrass, Weeping Love grass いずれも30~10%の植物生育に最適の範囲内での含水率変動のものが最も旺盛な生長をとげる。Perennial ryegrass は次にⅢ—3区 (含水変動30~0%) Ⅲ—1区 (含水率20~5%) の水分不足がわずかに現われる区及びⅠ—3区 (含水率40~10%) の過剰水分の影響のある所がこれに次ぎ、更に水分過剰区 (Ⅰ—1, 2区含水率40~20%) が続きあとはほとんど発芽しない。

Weeping Love grass では蒸発が Perennial ryegrass より盛んで乾燥がはげしく30~10%の次に、

図 1-19b Perennial ryegrass の土壤含水量変化と発芽期の生長 (2)

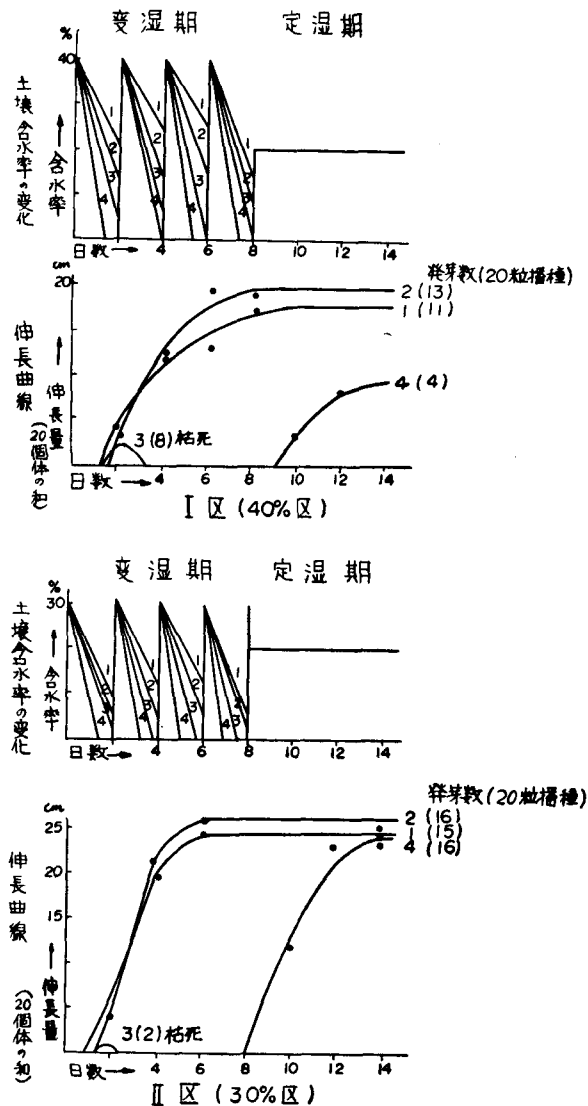


Perennial ryegrass では水分過剰の影響のあつた I—1, 2区がついでいる。そしてそのほかの区は途中で枯死するか発芽しなかつた。

両者を通じていえることは2日間の乾燥中に土壌が風乾してしまつて、次の給水まで時間があると生長はいちじるしい障害をうける。又 Weeping Love grass では (■—1, 2, I—3区) 発芽初期には生長出来る乾燥が同じ度合で続くのにかなり生長してから枯死する。即ち発芽開始期より伸長が進むにつれて生体維持に最低限必要とする土壌含水率が高くなる。

Weeping Lovegrass が Perennial ryegrass よりこういう途中枯死の現象が多いのは Weeping Love grass の試験の場合 Perennial ryegrass の場合より乾燥がはげしかつたこともあるが、それを割引いて考えても発芽直後の幼植物期では乾燥に対して Weeping Lovegrass は Perennial ryegrass より抵抗力が弱いといえる。これは種子が小粒のため Weeping Lovegrass による施工に際しては発芽期

図 1-20a Weeping Lovegrass の土壌含水量の変化と発芽期の生長 (1)



の管理に十分な注意を要する。

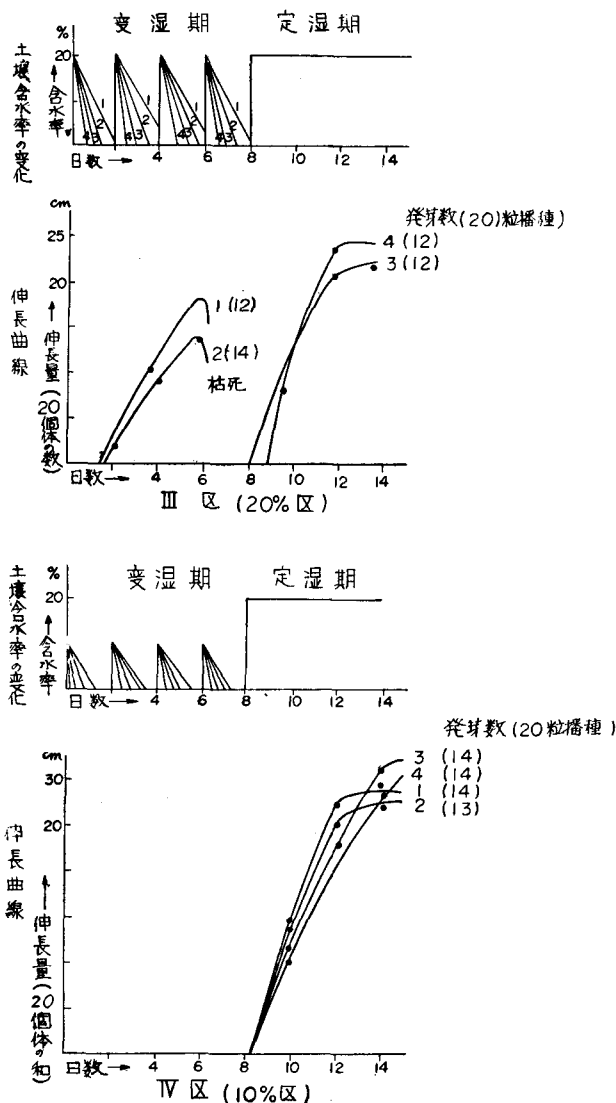
次に土壌の変湿期を終り、土壌含水率を20%に固定してからの発芽期の生長をみる。これは土壌の乾燥で種子がどれほど枯死したかをみるためのものである。

その結果をみると当然加水量の多かつた区ほど胚が活動を開始してから乾燥を受け枯死するものが多いわけで加水量の少ないものほどよく発芽する。種子が活性化するだけ吸水する前に水分が蒸発すれば種子はそのままであり、Ⅳ—4区を頂点としてこれから遠くなるほど枯死しているものが多い。

(図1-21)

Weeping Lovegrass の方が乾燥が早かつたせいもあるが、この場合の発芽ははるかに Weeping Lovegrass の方がよい。Perennial ryegrass では最も加水量の少なかつたⅦ—4区でさえ50%の種子が枯死している。Weeping Lovegrass は Perennial ryegrass に比べてはるかに乾燥に耐え生き残る可

図 1-20b Weeping Lovegrass の土壌含水量の変化と発芽期の生長 (2)



能性は強い。

Weeping Lovegrass は地表に芽を出した種子以外は乾燥に耐えほとんど影響していない。つまり種子という形でなら非常に強いといえる。

1-4 ま と め

1. タネ吹付工法において芝草の発芽をめぐる問題で最も重要なのは水分関係である。

2. 硬実的傾向を持つものとしてイタドリマメ科植物、ノシバがあり、イタドリは塩酸処理、ノシバは塩酸処理、ジベレリン100ppm処理、それらとウスプルン併用によつて発芽促進の効果がみられた。

3. 光条件で問題になるのは覆土の問題で小粒種子では10mm覆土でも害がある。

4. 各々の芝草は条件が一定ならそれぞれ固有の発芽傾向、吸水曲線を持つ。この工法にとっては Weeping Lovegrass, Ryegrass, Kentucky 31 fescue などの発芽傾向のものが望ましい。発芽傾向、吸水曲線は条件により変動する。

5. 発芽開始後幼植物期にいたるのは小粒種子の方が早い早期緑化、安全性の立場からは大粒種子の方が望ましい。

6. 温度については発芽に必要な最低限の温度は10~12℃であるが、Perennial ryegrass は全ての種子が等しい温度限界を持つが、Weeping Lovegrass は高温になるにつれ発芽数がふえ、温度限界の異つた種子がまじり合つていとみられる。変温効果は大抵の芝草種子にみられるがわれわれの実験では Carpet grass に著しかつた。芝草の最適発育温度はかなり高いが、その温度では発芽後の生長で水分不足による障害が大きくなるので、實際上植物生育最適温度のときに播種すべきである。

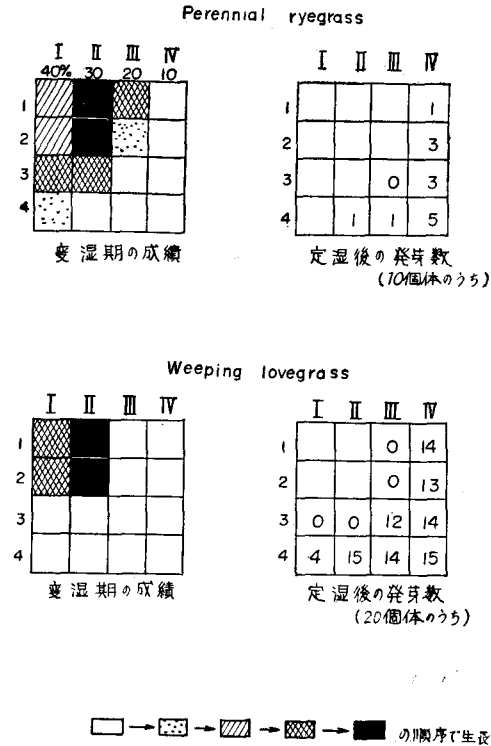
7. 芝草発芽に必要な水分量はその発芽過程によつて異なる。発芽開始時には水分は多いほどよいが生長を続けると土壌の植物生長最適含水率を与えたものが最もよく生長するようになる。

8. 芝草種子の吸水力は中央最高吸収力でみるとサツカロゼ濃度で0.3~0.5mol のあたりにあり発芽期の生長のためにはずっと低いことを要する。

9. 乾燥に対する抵抗力は種子の置床後経過時間が長いほど小さくなるが、根系の発達によつて断水されにくくなり最も危険なのは温度最適なる48時間後あたりであろう。

10. 土壌含水率の変動と発芽期の生長の関係は当然植物生育に最適の範囲内で変動するものが最も生長がよい。土壌が風乾して乾燥する時期があるといちじるしい害をうける。土壌乾燥後の生長回復は加水量の少ない区ほど大きい。

図 1-21 土壌含水量変化の発芽期に及ぼすえいきよう



2 養生剤について

タネ吹付工法は芝草種子を直接斜面に播種して行なうためにその後の養生法を充分考慮する必要がある。斜面に種子を吹付けたまま放置すると芝草が十分に生育するまでに乾燥によつて枯死したり、

雨水によつて侵食され流亡してしまうおそれが多分にある。播種面の養生の目的はこれらの危険を防止することにあつてタネ吹付工法の過程においてその比重は非常に大きい。その養生法としては乾燥の防止、侵食防止の2点から播種の完全な全面被覆が望まれる。はじめの工法においては荒目ムシロによる養生が行なわれた。しかしこの方法では完全な養生が出来ないうゑに種々の欠点があつた。例えば斜面が急勾配であるとムシロ張付が困難となり、かつナワや目串で止めてもはがれるおそれがあつた。張付においても比較的手間がかかり工費が高価となるうゑに機械化されたこの工法の過程の中にあつて最も能率が低く、施工のスピードアップ上一つのネックとなつていた。そのほか風雨によつてムシロははがれやすく補修の必要があり、小粒種子の芝草は発芽障害の心配もあつた。

このようなムシロ養生の欠点を改善し完全な全面被覆の方法を工夫することが切望され、ムシロ養生に代る新しい養生法の確立が期待された。

その養生法が満すべき必要条件として、

1. 全面被覆であること。
2. タネ吹付工法が機械化されている以上、養生も機械を導入し能率的に行なえること。
3. 乾燥及び侵食を充分防止しうること。
4. 材料、施工費が安価であること。施工が簡単であること。
5. 仕上げが見苦しくないこと。

この様な観点から塩化ビニリデン溶液、アスファルト乳剤、ペトラタム乳剤、ソイラックが候補にのぼりこの基礎実験の結果アスファルト乳剤がすぐれたものとして採用されるにいたつた。

以下これらの乳剤特にアスファルト乳剤を中心として芝草に対する影響、乾燥防止、侵食防止の作用について基礎実験の結果をのべる。

表2-1 各 薬 剤 の 基 本 的 性 質

薬剤名	塩化ビニリデン溶液	ペトラタム乳剤	アスファルト乳剤	土 壌 調 整 剤
商品名	クロハロンラテックス	グリーンナー	NTE-1 および NTE-2	ソイラック
成 分	塩化ビニリデンと塩化ビニールの複合体	蠟分と活性剤	石油アスファルトを適当な乳化剤で水中に分散させたもの	ビニール高分子化合物
濃 度	樹脂分 50%	20%	55%	粉 末
比 重	1,225~1,235	1,015	1.03	
色	白 色	緑 色	黒 褐 色	白 色

表2-2 たねまき用アスファルト乳剤の種類（東亜道路工業製品）

試 験 項 目	アニオン系	カチオン系
フルイ試験(%)	0.1以下	0.1以下
エングラール比粘度25°C(%)	10以下	10以下
貯蔵安定度5日(%)	3以下	5以下
低温安定度	-5°C 合格	±0°C 合格
骨材被膜試験 40°C, 5分	合格	合格
蒸溜残留物(%)	55以上	55
残留物の性質		
針入度 25°C	100~200	80~200
伸 度 15°C(cm)	80以上	80以上
四酸化炭素可溶分(%)	97.5以上	97.5以上

この研究で対象としたのはコンクリート面の養生剤である塩化ビニリデン溶液、たねまき用アスファルト乳剤、植物体蒸散作用抑制剤ペトラタム乳剤、のちに土壤改良剤をも加えた。それらの基本的性質は表 2-1 の通りである。

研究の中心になったアスファルト乳剤は用途により性質が異なるが、主な種類は表 2-2 の通りである。

アニオン系乳剤は清水でカチオン系乳剤は食塩水によつて稀釈し使用する。以下の実験では特にことわらぬかぎりアニオン系浸透用乳剤蒸溜残留物約55%のものをを用いた。

2-1 各養生剤の芝草発芽に及ぼす影響

ここでは各種薬剤による被覆が芝草の発芽に対しどのような影響を及ぼすかをみた。

a) 各種乳剤に浸漬した場合の影響

この実験は塩化ビニリデン溶液、アスファルト乳剤、ペトラタム乳剤が芝草の発芽に有害かどうかを判断するために行なつた。

実験材料として Perennial ryegrass の種子を用い、1区400粒（200粒ずつ2個のシャーレ）とし、直径16cmのシャーレに濾紙2枚をしき発芽床とした。温度は20℃定温に保つた。定温器内に光源はない。水分は常に飽和状態に保つた。処理は上の3種の乳剤に種子を24時間浸漬したのち置床し、無処理区は24時間水に漬けた。使用した乳剤濃度は塩化ビニリデン溶液は6倍液、ペトラタム乳剤は6倍液、アスファルト乳剤は原液である。

その結果（図 2-1）をみると、いずれも発芽速度は無処理より遅れるが、これは無処理区は24時間水漬のため発芽促進された結果である。したがつてこの点を割引けばペトラタム乳剤、アスファルト乳剤は発芽に対して影響を及ぼしていないことがわかる。

塩化ビニリデン溶液に浸漬したものは発芽勢が弱まり発芽速度が遅くなる。しかし時間をかけると発芽は進み最終発芽率には影響が少ないと思われる。だから積極的な有害作用があるのではなく種子の周囲にビニールの膜が形成され吸水困難になり発芽が遅れるものと思われる。

b) 各種乳剤を土壤に吹付けた場合の発芽試験

ここでは実験に行なわれる工法を想定しそれにもとづいて土壤に種子をまきその上に各種乳剤を吹付けて発芽をみた。

材料は Perennial ryegrass を用い1区50粒とし、直径16cmのシャーレに砂質土を500cc入れ、それに播種し被覆土を100ccとし含水率を15%に保ち、その上に塩化ビニリデン溶液、ペトラタム乳剤、アスファルト乳剤を散布（霧吹きによる）した。いずれも原液を用い、0.3 l/m² になるようにした。これは吹付けしうる最大値と想定されたためである。温度は室温（5月上旬）であり、室内光である。保水のため、実験開始後シャーレに蓋をして

図 2-1 各種乳剤浸漬が Perennial ryegrass 種子の発芽に及ぼすえいきよう

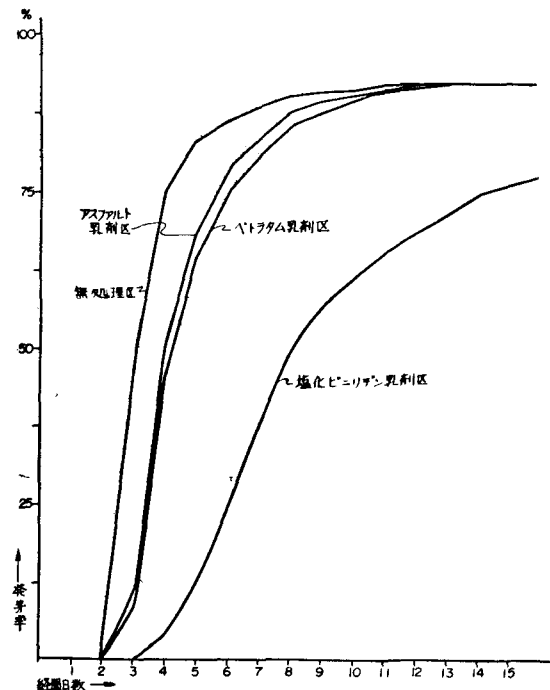
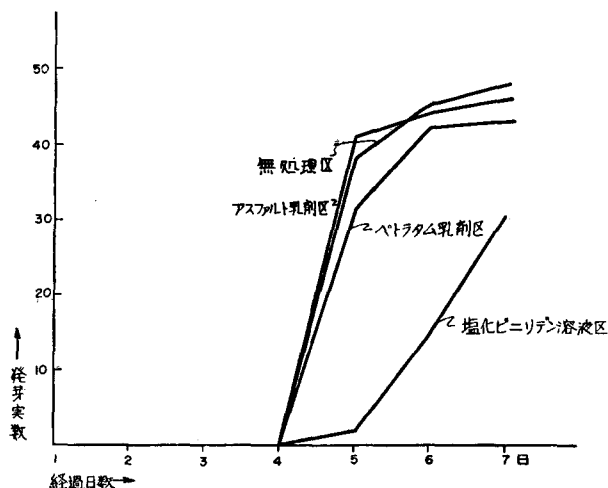


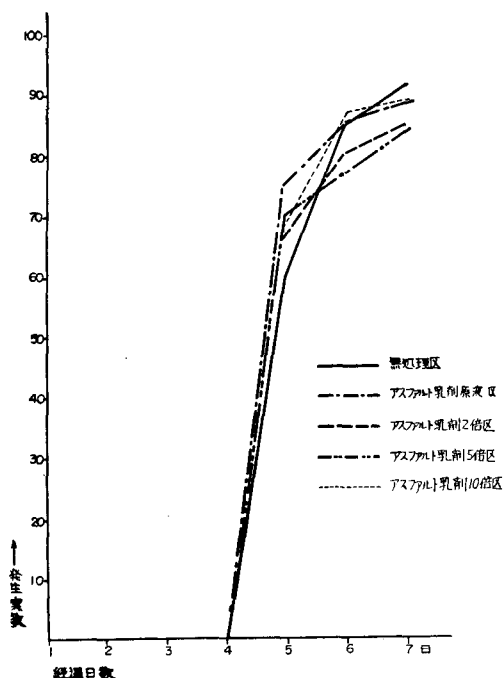
図 2-2 各種乳剤吹付けによる Perennial ryegrass 種子の発芽へのえいきよう



蒸発を防いだ。この場合の発芽は被覆土上に芽が現われたときをもつてした。

この実験結果(図2-2)によつてもアスファルト乳剤、ペトラタム乳剤は発芽に影響がみられない。塩化ビニリデン溶液は先の実験と同様発芽速度の遅延が認められた。これはこの溶液は土壤に吹付けると土壤中に浸透してしまい、種子がビニール薄膜によつておおわれ吸水機能が阻害されるためである。ペトラタム乳剤も土壤への浸透性が高く土壤表面に被膜を形成しない。アスファルト乳剤は土壤表面に被膜を形成し土壤中に全然浸透がみられなかった。

図 2-3 濃度別アスファルト乳剤吹付けの Perennial ryegrass 発芽へのえいきよう



c) アスファルト乳剤濃度別吹付けによる発芽試験

先の2回の実験によつてアスファルト乳剤が最も有力とされたのでここでもう一度アスファルト乳剤を濃度別に吹付け発芽試験を試みた。

実験材料、方法は前のbと同様である。乳剤濃度は原液、2倍液、5倍液、10倍液それぞれとコントロールとして吹付けなしを設けた。吹付量は $0.31/m^2$ になるようにした。1区2ポット(1ポット50粒播種)ずつ設け結果は合計で示す。5月中旬に行なつた。

その結果をみると(図2-3)どの濃度も発芽への影響がみられず被覆量によつても全然発芽に影響がないことが明らかになった。

2-2 蒸発抑制効果

各種の養生剤が土壤水分の蒸発抑制に対して効果があるかどうかをみた。

実験方法は直径8.8cmのシャーレいっぱい微砂質土壤を入れ、これに30CC加水し、そ

の上に各種乳剤を各濃度別に1.6g（換算すると $0.31/m^2$ ）を吹付けた。ヌレムシロ区はムシロよりワラをとりそれを十分に水浸して用いた。全面被覆すると1.5g必要である。これを室内に放置し自由蒸発を行なわしめ総重量の減少によつて蒸発量をみた。実験は6月中に行なわれ、無処理区の水分が蒸発しきつたときで実験を終つた。各区とも2個ずつ作りその合計によつてみた。

設けた実験区は表2-3の通りである。

表2-3 実 験 区 表

区	処 理	原液に換算した吹付量
1	無 処 理 水 吹 付 け	—
2	塩化ビニリデン溶液	原 液 吹 付 け
3		5 倍 液 吹 付 け
4		10 倍 液 吹 付 け
5	ペトラタム乳剤原液	原 液 吹 付 け
6		5 倍 液 吹 付 け
7		10 倍 液 吹 付 け
8	アスファルト乳剤	原 液 吹 付 け
9		2 倍 液 吹 付 け
10		5 倍 液 吹 付 け
11	ヌ レ ム シ ロ	1.5g 被 覆 区
12		〃
13		〃

その結果を図2-4, 5, 6, 7に示す。この図は横軸を無処理区の蒸発量を百分率で示し、タテ軸を各試験区の残水量を百分率で示してある。したがつて無処理区（コントロール）は45°線で示される。例えば、図2-5でアスファルト原液吹付け区は無処理区の蒸発が終り蒸発率が100%になったとき、84%まだ残水しており16%しか蒸発していないことを示す。無処理区の45°線より離れるほど蒸発抑制効果が大きい。

塩化ビニリデン溶液、ペトラタム乳剤の原液吹付け区の蒸発量はアスファルト乳剤原液吹付け区の4倍余りでアスファルト乳剤の2～5倍液吹付け区と同等になる。前2者の乳剤の5～10倍液区は無処理

図 2-4 塩化ビニリデン溶液の蒸発抑制効果

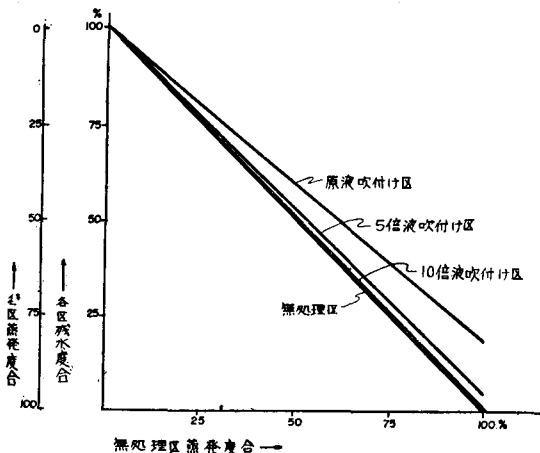


図 2-5 アスファルト乳剤の蒸発抑制作用

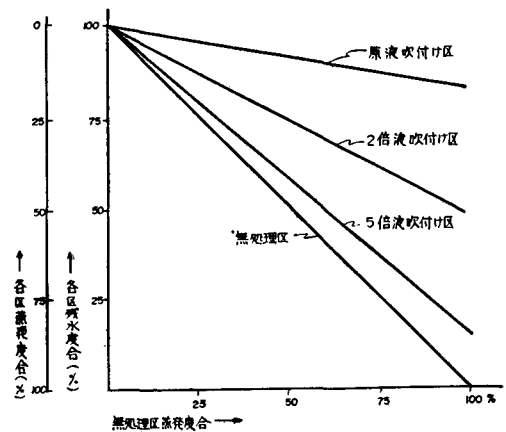


図 2-6 ペトラタム乳剤の蒸発抑制作用

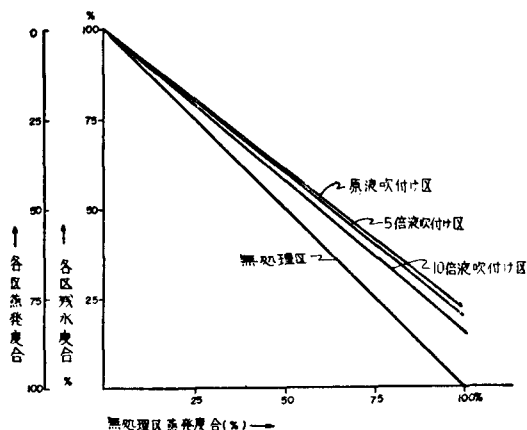
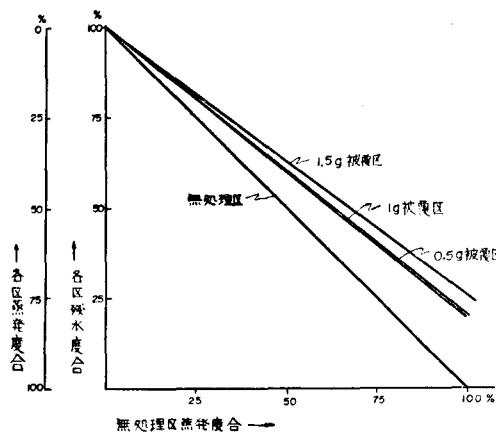
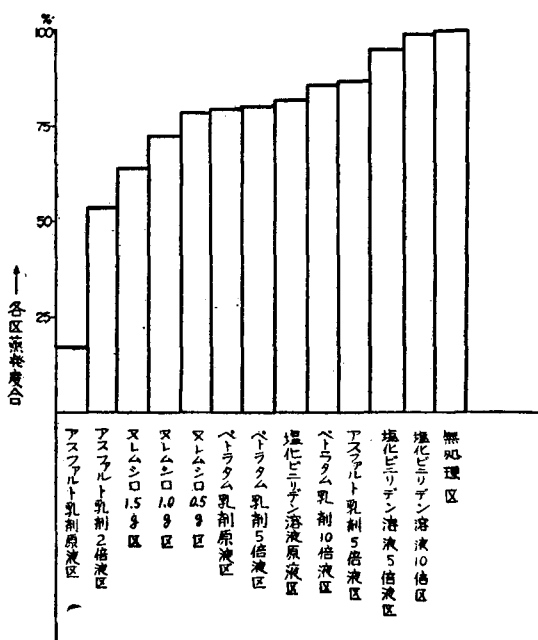


図 2-7 ヌレムシロ被覆による蒸発抑制作用



区と著しい差がみられない。塩化ビニリデン溶液、ペトラタム乳剤の原液をこれだけの量を吹付けるには材料費の点から不可能で養生剤として不適格と判断された。両者とも吹付け土壤に浸透してしまい、土壤表面に薄膜を形成することが出来ぬため、蒸発抑制が困難になると思われた。

図 2-8 各区蒸発度合比較



ヌレムシロ全面被覆 (1.5g) の場合の蒸発量はアスファルト乳剤2倍液吹付け区と5倍液吹付け区との中間に位する。またヌレムシロ 1g, 0.5g 区の蒸発量はアスファルト乳剤5倍吹付け区より少ない。したがって蒸発に関する点ではヌレムシロ全面被覆よりもアスファルト乳剤原液又は2倍液を吹付けた方が蒸発防止効果がある。

図2-8は無処理区が100%蒸発したときの各区の蒸発量を示す。

次に追加として土壤改良剤ソイラックを検討した。25℃定温下でソイラック15%コロイド、アスファルト乳剤濃度30%のもの及び水のみをの区を設け自由蒸発せしめた。

この表2-4は水の32時間で蒸発した量を100としたものである。アスファルト乳剤の蒸発抑制効果は表面が早期に固結し薄い不透水性膜を形成することにある。ソイラックはこの性質が少なく、薄膜形成力が弱いので蒸発に

表2-4 ソイラックとアスファルト乳剤溶液からの蒸発 (%)

経過時間	6時間	32時間
水	23.1	100
ソイラック 15%	17.8	55.1
アスファルト乳剤30%	7.5	12.4

対しては効果が薄い。またソイラックも塩化ビニリデン溶液と同じく土壤中に浸透してしまい土壌表面に薄膜を形成しない上に種子周囲をとりまくので発芽遅延がみられた。

2-3 アスファルト乳剤の侵食防止作用

養生剤が具えるべきもう一つの重要な条件はそれがどれくらい雨水による侵食に耐えられるかである。少なくとも芝草種子が発芽生長し、十分な効果をあげるようになるまで侵食を防止出来なくてはならぬ。先に行なつた発芽及び蒸発抑制効果についての実験でアスファルト乳剤が最も有力とされたのでこの実験ではアスファルト乳剤について侵食防止の実験をした。

最初斜面長 30cm, 勾配 45°の模型斜面を作り, それによつて侵食作用をみようとしたが, この規模では侵食は全て雨水の衝撃力によつて土壌が飛散することであり, 流下水による侵食はみられなかつた。雨滴衝撃力による侵食土量は衝撃力をもたぬ単なる流下水による侵食土量の約10倍という報告もある。これらの結果から以後の実験は雨滴の衝撃力による侵食実験を主体として行なつた。

内径 4 cm, 厚さ 2 cmの真鍮の輪に濾紙で底をつけ粒径 0.2~0.5mmの砂(含水率10%)を各々等量入れ, この上にアスファルト乳剤を吹付けたものを実験床とした。この実験で使用したアスファルト乳剤は蒸溜残留物30%のものである。その吹付量は 0.54 l/m^2 になるようにした。したがつて蒸溜残留物からいえば先の発芽, 蒸発実験と同量吹付けている。

この実験床を絶乾にし重量を測定し, これを降雨に当て, 再び絶乾重量を測定しその差をもつて侵食土量として比較した。

第1回の実験は昭和34年10月6日~7日の降雨によつて行なつた。時間は19時間で降水量は27.2mmであつた。その結果を表2-5に示す。

第2回の実験は昭和34年12月15日の降雨によつて行なつた。実験時間は9時間降水量は6.8mmであつた。(表2-6)

表2-5 アスファルト乳剤による侵食防止効果測定 (第1回)

実 験 区	侵食土量 (g)	侵食土量割合
無 被 覆 区	8.5	100
アスファルト乳剤原液区	0.0	0
〃 2 倍 区	0.5	6
〃 4 倍 区	0.1	12

表2-6 アスファルト乳剤による侵食防止効果測定 (第2回)

実 験 区	侵食土量 (g)	侵食土量割合
無 被 覆 区	1.0	100
アスファルト乳剤原液	0.1	9
アスファルト乳剤2倍区	0.4	36
アスファルト乳剤4倍区	0.5	46

この表の侵食土量割合は無被覆区の侵食土量を100とした。

この表で明らかなようにアスファルト乳剤は侵食防止効果は非常に大きく30%の4倍区でもいちじるしい効果を示した。

2-4 アスファルト乳剤被覆と芝草の生長

小形素焼ポットに土壌を入れ, Perennial ryegrass を播種し, アスファルト乳剤を吹付け, 約3ヶ月(昭和34年8月開始)の生長をみたが, 毒性はみとめられなかつた。この実験ではアスファルト乳剤

が表層に止まるからアスファルト乳剤の毒性を知るのに不充分と考え、素焼ポットの底からアスファルト乳剤の低濃度（20～100倍）を吸収せしめて毒性をみた。この場合アスファルト乳剤が固結したため水分の流通が不良になつた以外直接毒性はみられなかつた。このことは各実験区土壌の pH がほとんど変化していないことでも明らかである。（表 2-7）

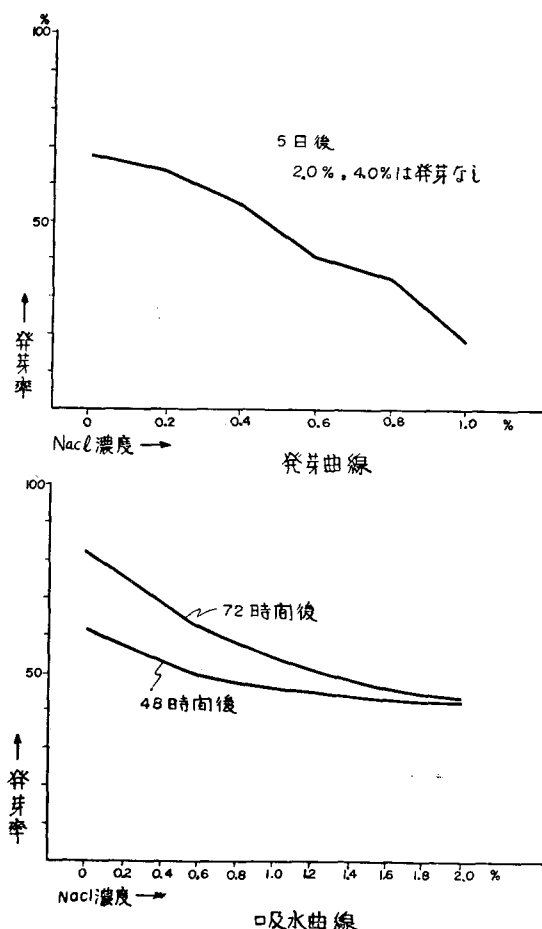
表 2-7 各実験区土壌の比較表（実験開始後 3 ヶ月）

実 験 区	pH 値
無 処 理 区	5.0
アスファルト乳剤 20 倍液吸収区	5.5
〃 50 〃	5.0
〃 100 〃	5.0

2-5 カチオン系アスファルト乳剤 — NaCl 濃度と発芽 —

アスファルト乳剤でもカチオン系乳剤は接触分解により固結するのでアニオン系乳剤より土壌への接着性はるかによいので出来るならカチオン系乳剤の使用が望ましい。カチオン系乳剤を使用する

図 2-9 NaCl 濃度のイタリアンライグラス
発芽に及ぼすえいきょう
発芽曲線（上） 吸水曲線（下）



に最も問題になるのはその稀釈液として食塩水を使用するので、食塩水の芝草の発芽に対する影響である。これは又今後増大するであろう干拓地緑化の場合に必要とされるデータでもある。

発芽実験として直径 9 cm のシャーレに口紙 3 枚しき各濃度 NaCl 溶液を 4 cc ずつ入れ、Italian ryegrass を 100 粒ずつ播種し、30℃ 室温有光下に置き、5 日目に発芽曲線をみ、48 時間、72 時間目に秤量し、のちに風乾して秤量し、それによって吸水曲線を得た。（図 2-9）

発芽期の生長については 100cc 入り ガラスポットに各濃度 NaCl を 20cc ずつ入れ、Italian ryegrass 20 粒ずつ播種し、6 日目に第 1 本葉の伸長量を測定した（図 2-10）。条件は室温（9 月 7 日～13 日）室内光である。

この結果をみると NaCl 濃度は発芽現象に対しては 0.8% で発芽量が半減する。この影響は発芽現象以後発芽期の生長に対してはもつと低濃度でもいちじるしく 0.4% ですでに正常（水中）生長量の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ の生長抑制がみられる。

カチオン系乳剤原液に対する発芽への影響は原液に 24 時間浸漬したのち発芽せしめたが（30℃ 定温、有光）正常な発芽をみせた。更に製造元が指定する稀釈法の通りカチオン系

乳剤原液（蒸溜残置物55%）を0.25%のNaCl溶液で2倍にうすめ同様な実験を行なつたが害はみられなかつた。

これらの結果からカチオン系乳剤を使用することはアニオン系乳剤と同様に発芽に対し無害と判断した。

2-6 ま と め

1. 養生法の合理化をはかるため新しい養生剤を試験した。対象にしたのはアスファルト乳剤、ペトラタム乳剤、塩化ビニリデン溶液、土壤改良剤などである。

2. ペトラタム乳剤は土壤中に浸透してしまい表面を被膜でおおわないので蒸発抑制効果がない。

3. 塩化ビニリデン溶液も同様に被膜を形成せず蒸発抑制効果がない上に発芽遅延を引起す。

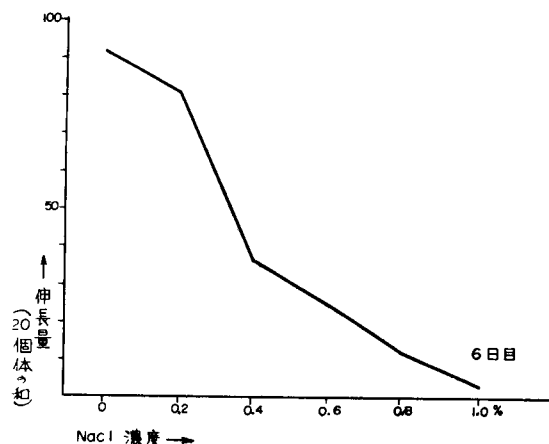
4. 土壤改良剤も蒸発抑制効果がない。

5. アスファルト乳剤は土壤中に浸透せず被膜を形成するので蒸発抑制効果、侵食防止効果がいちじるしい。2倍液を0.3l/m²吹付けることで十分な効果がありムシロより完全である。発芽及びその後の生長に対しても悪影響がない。

6. カチオン系乳剤は発芽に対して無害である。

7. 食塩水の影響は発芽現象についてはNaCl濃度0.8%で半減し、発芽期の生長に対してはNaCl濃度0.4%で第1本葉の生長が半減する。

図 2-10 NaCl 濃度の Italian ryegrass の発芽期の生長に及ぼすえいきょう



Summary

We have found a new method for preventing soil erosion on denuded slopes. The method is the use of a concrete gun which blows a mixture consisting of water, seeds, and fertilizers onto a denuded slope to establish its protective grass cover. For the success of this method, the decisive factor is the retention of water required for germination of seeds.

In this respect, we have made a series of experiments on relations between water and germination of grass, with following results. The quantity of water needed for germination varies according to the difference in environmental conditions. If the conditions are the same, each kind of seed shows an inherent germination tendency and a characteristic water-absorbing curve. At the beginning of germination, the greater amount of water is favorable to the growth of seeds, but in the later stage, they grow best in the soil which contains the most adequate amount of but in the water for plant growth.

Drought resistance of the seeds lowers with the lapse of time after seeding till a drought. But, since they are hardly cut off from water as their root systems develop, the most dangerous period will be somewhere about 48 hours after seeding if the temperature remains at an adequate degree. Thus the drying of seedbed soil during the germinating period causes the grasses a severe damage. The recovery of growth after a drought was better in the plots which had been given less water than the other.

Next, we made an experiment on covering materials over seedbed with the aim of protecting seeds from both erosion and drought. Asphalt emulsion, petrolatum emulsion, soil conditioner like Soilax, and others were tested for the effects. The most effective among these is asphalt emulsion which forms a thin film over the seedbed after sprayed, not permeating the soil, thus preventing a loss of moisture and a possible erosion. Besides it has no injurious wrong effect for the germination and the succeeding growth of grasses.