

# 土 木 研 究 所 資 料

## 砂防工事に係わる緑化工法に関する調査(Ⅲ)

平成3年3月

建設省土木研究所  
砂防部急傾斜地崩壊研究室

Copyright © (1991) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

## 砂防工事に係わる緑化工法に関する調査(Ⅲ)

急傾斜地崩壊研究室 室 長 中村良光  
主任研究員 杉原忠弘  
工藤賢二

### 要旨

本調査は、全国5箇所の緑化工試験施工地において、各施工地の立地条件に適した緑化工法の検討と、木本類導入をねらいとした緑化工技術基準作成の基礎資料収集のため、3カ年にわたる追跡調査結果をとりまとめたものである。

この調査結果をもとに、各施工地がかかえる緑化上の問題点に対処できると考えられる緑化方法、木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法を提案した。さらに、今後の植生の推移にともなう課題、木本類導入をはかるための緑化工法の技術的課題等についてとりまとめた。

キーワード：砂防工事、緑化工、試験施工、植生工種、木本、在来草本、外来草本

## はじめに

砂防工事とともに、工事用道路や砂防ダム袖部付近等に切土や盛土ののり面が出現することが多い。これらののり面は表面侵食防止や斜面安定、また一方では環境への配慮から緑化が要求される場合がしばしばある。しかし、これらののり面は、寒冷、多雪、養分に乏しい、乾燥しやすい等の厳しい立地条件にあることが多く、維持管理にもほとんど手を入れられないのが現状である。緑化工技術の発展はめざましく、経済的な制約さえなければどんなところでも緑化できないところはないとまで言われている。しかし、個々の施工地における緑化工法の選定にあたっては砂防工事にもなう緑化工の指針がなく、現場での経験に頼っているのが現状であり、一部には不適当な施工事例も見られるようである。

一方、緑化工によって導入する植生の質が問題とされ、導入植物の構成も変化してきている。従来は外来草本を主とする、いわゆる早期緑化をめざした緑化が主体であったが、木本類や在来草本を積極的に導入する手法も増えている。木本類の導入を確実に行うことができれば、緑化工の目的である地域の植生や景観の保全及び斜面保護の機能は更に向上するので、有効な緑化手法であるといえる。しかし、木本類や在来草本を導入する手法は必ずしも確立されておらず、これに適した植生工の種類や肥料、緑化基材の選択、種子配合の設定の問題など、今後解決しなければならない課題も多い。

そこで、ここでは、東北地方建設局新庄工事事務所、関東地方建設局渡良瀬川工事事務所、中国地方建設局倉吉工事事務所、四国地方建設局吉野川砂防工事事務所、九州地方建設局宮崎工事事務所の各々の砂防工事現場に緑化工試験施工地を設け、3カ年にわたる追跡調査結果をもとに、各試験地の地域的な特性にあった緑化方法、木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法について、検討し、これらの手法について提案した。さらに、持続的な緑化を可能にする緑化方法を確立するため、今回の試験施工で解明できなかった点を考慮した今後の試験施工方法、植生の推移にもなう課題、木本類及び在来草本の導入をはかるための緑化工法の技術的課題についてとりまとめた。

## 目次

### はじめに

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 1. 調査の概要                    | 1   |
| 1. 1 調査の経緯、目的               | 1   |
| 1. 2 試験施工地の概要               | 1   |
| 1. 3 調査方法                   | 4   |
| 1. 3. 1 現地調査                | 4   |
| 1. 3. 2 データの集計方法            | 10  |
| 2. 各緑化工法における生育状況の推移及び傾向     | 11  |
| 2. 1 各試験地の調査結果概要及び生育状況の推移   | 11  |
| 2. 1. 1 新庄工事                | 11  |
| 2. 1. 2 渡良瀬川工事              | 23  |
| 2. 1. 3 倉吉工事                | 33  |
| 2. 1. 4 宮崎工事                | 46  |
| 2. 1. 5 吉野川工事               | 53  |
| 2. 1. 6 まとめ（植生推移型の分類）       | 57  |
| 2. 2 種子配合別の傾向               | 60  |
| 2. 3 植生工種別の傾向               | 74  |
| 2. 3. 1 植生工種別の傾向（種子配合別）     | 74  |
| 2. 3. 2 各植生工種の特徴についてのまとめ    | 83  |
| 2. 4 吹付厚さ別の傾向               | 85  |
| 2. 4. 1 客土種子吹付工、吹付厚さ別の傾向    | 85  |
| 2. 4. 2 厚層基材吹付工、吹付厚さ別の傾向    | 86  |
| 2. 5 吹付けに用いる材料別（土壌、有機質等）の傾向 | 91  |
| 2. 6 肥料別の傾向                 | 96  |
| 2. 7 施工時期別の傾向               | 97  |
| 2. 8 浸食状況及び植生被覆に及ぼす影響       | 99  |
| 2. 9 木本類の成立に関与する因子の抽出       | 102 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 3. 各試験地に適した緑化方法の提案及び課題 .....            | 111 |
| 3.1 各試験地毎の緑化上の問題点に対処できると考えられる緑化方法 ..... | 111 |
| 3.1.1 新庄工事 .....                        | 111 |
| 3.1.2 渡良瀬川工事 .....                      | 114 |
| 3.1.3 倉吉工事 .....                        | 116 |
| 3.1.4 宮崎工事 .....                        | 118 |
| 3.1.5 吉野川工事 .....                       | 120 |
| 3.2 木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法の検討 ..... | 121 |
| 3.3 今後の試験施工に関する検討 .....                 | 127 |
| 3.3.1 今回の試験施工での不明点、問題点 .....            | 127 |
| 3.3.2 今後の試験施工の方針 .....                  | 128 |
| 3.3.3 今後の試験施工の実際的方法立案 .....             | 131 |
| 3.4 今後の植生推移とそれに伴う課題 .....               | 133 |
| 3.4.1 各試験地の施工2年後までの植生推移について .....       | 133 |
| 3.4.2 植生の推移に伴う課題 .....                  | 136 |
| 3.5 木本類及び在来草本の導入を図るための緑化工法の技術的課題 .....  | 140 |
| 3.5.1 木本類及び在来草本の発芽の問題 .....             | 140 |
| 3.5.2 木本類及び在来草本の生育の問題 .....             | 141 |
| 3.5.3 導入可能な植物が限定される問題 .....             | 143 |

## 1. 調査の概要

### 1. 1 調査の経緯、目的

昭和62年度において全国の4箇所で行なわれている。試験施工の追跡調査は他の1箇所の緑化工施工地の調査と合わせて施工当年度、昭和63年度、平成元年度に継続して行われている。これら一連の調査は次のことを目的として行なわれている。

- ①現在一般に行われている緑化工を主とした各緑化工法の評価。
- ②各試験地ごとの緑化上の問題点に対処できる緑化方法の提案。
- ③木本類及び在来草本の導入を効果的に行なうための緑化方法の提案。

本調査は、施工2年後までの調査結果及び検討事項の取りまとめを行ない、さらに次の項目について検討したものである。

- a. 実施された試験施工に関する問題点の抽出、今後の緑化試験施工の方法
- b. 各緑化工試験地の今後の植生の推移に伴う課題
- c. 木本類及び在来草本の導入を図るための緑化工法の技術的課題

### 1. 2 試験施工地の概要

緑化工試験地と施工時期、調査年月を表-1・1に示す。

各試験地の立地条件、気象条件、現地から提示された緑化工適用上の問題点について表-1・2に示す。

表-1・1 緑化工試験地と施工時期、調査年月

| 事務所名               | 試験場所                           | 施工年月                  | 調査年月                |                     |                    | 備考                               |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|
|                    |                                |                       | 施工当年度               | 施工1年後               | 施工2年後              |                                  |
| 東北地建<br>新庄工事(事)    | 山形県戸沢村<br>角川第四ダム<br>工事用道路法面    | 昭和62年11月下旬<br>(1987年) | 昭和63年7月<br>(1988年)  | 昭和63年10月<br>(1988年) | 平成元年9月<br>(1989年)  | 秋施工であるため、<br>初回調査は翌年7月<br>に行なった。 |
| 関東地建<br>渡良瀬川工事(事)  | 栃木県足尾町<br>大畑沢                  | 昭和62年8月下旬<br>(1987年)  | 昭和62年11月<br>(1988年) | 昭和63年9月<br>(1988年)  | 平成元年9月<br>(1989年)  |                                  |
| 中国地建<br>倉吉工事(事)    | 鳥取県溝口町<br>一ノ沢                  | 昭和62年7月下旬<br>(1987年)  | 昭和62年11月<br>(1987年) | 昭和63年9月<br>(1988年)  | 平成元年10月<br>(1989年) |                                  |
| 九州地建<br>宮崎工事(事)    | 宮崎県高原町<br>大幡第七号砂防ダム<br>工事用道路法面 | 昭和62年6月下旬<br>(1987年)  | 昭和62年12月<br>(1987年) | 昭和63年9月<br>(1988年)  | 平成元年9月<br>(1989年)  |                                  |
| 四国地建<br>吉野川砂防工事(事) | 高知県土佐町<br>西石原砂防ダム盛土            | 昭和62年3月下旬<br>(1987年)  | 昭和62年12月<br>(1987年) | 昭和63年9月<br>(1988年)  | 平成元年10月<br>(1989年) | 実施工で行なわれた<br>法面を調査している           |

※吉野川工事は試験施工ではないが、当報告書では同様に試験地と呼称する。

※当報告書では各試験地の呼称を上表の上から、新庄、渡良瀬川、倉吉、宮崎、吉野川と略称で用いる。

表 - 1 ・ 2 緑化工適用上の問題点

| 試験施工地<br>項 目 |           | 渡良瀬 (大畑沢)                                                                                                                                                                                      | 倉 吉 (一の沢)                                                                                                  | 宮 崎 (大幡)                                                                                                                                     | 新 庄 (角川)                                                                                                                              | 吉野川 (西石原)                                        |
|--------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 勾 配          |           | 1:2.1 (25°)                                                                                                                                                                                    | 1:0.8~1:1.2                                                                                                | 1:0.7~1:1.0                                                                                                                                  | 1:1~1:1.2                                                                                                                             | 1:1.5 (33°)                                      |
| 周 辺 植 生      |           | 代償植生<br>(草本, 裸地多い)                                                                                                                                                                             | 落葉広葉樹林<br>(ミズナラ, カエデ類)                                                                                     | 針葉樹植林<br>(スギ)                                                                                                                                | 針 葉 樹<br>(スギ) 落葉樹混交林                                                                                                                  | 針葉樹植林<br>(スギ)                                    |
| 地 質 ・ 土 質    |           | ・ 石英斑岩<br>・ 盛土 (掘削土)<br>・ 礫混り土 (粒径大)                                                                                                                                                           | ・ 火山砕屑物<br>・ 崩積土砂<br>・ 礫混り土 (礫分多い)                                                                         | ・ 輝石安山岩<br>・ 切土<br>・ シルト質ローム (赤土, 粘土あり)<br>・ 15~27mm, pH6.7                                                                                  | ・ 粗粒玄武岩, 凝灰岩<br>・ 切土 (浸食, 滑落が発生)<br>・ 軟岩, 礫混り土砂<br>・ 23.6~30mm, pH4.8~7.0                                                             | ・ 盛土<br>・ 礫混り土砂                                  |
| 土壌硬度, pH     |           | ・ ———, pH4.07~5.01                                                                                                                                                                             | ・ 測定不能, ———                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                       |                                                  |
| 気 象          | 10℃以上の月温度 | 5~10月                                                                                                                                                                                          | 5~10月                                                                                                      | 4~10月                                                                                                                                        | 5~10月                                                                                                                                 | 4~11月                                            |
|              | 冬季の最低気温   | -18~20℃ (極値)                                                                                                                                                                                   | (-4℃, 推測)                                                                                                  | (-2.7℃, 推測)                                                                                                                                  | -7.4℃                                                                                                                                 | -1.9℃                                            |
|              | 生育期間の降水量  | 1,567.6mm (1985~1987)                                                                                                                                                                          | 2,097.5mm (1986~1987)                                                                                      | 2,585.5mm                                                                                                                                    | 2,283mm                                                                                                                               | 2,373mm                                          |
| 緑化工適用上の問題点   |           | (1)粗粒で礫が多く, 保水性, 保肥性が低い<br>(2)強酸性であり, 生育阻害物質を含む<br>(3)冬季は著しい低温となり, 植物は低温害を受ける可能性がある<br>(4)植物の生育適期が短い<br>(5)周辺からの侵入植物 (木本) は少ない                                                                 | (1)粗粒で礫が多く, 保水性, 保肥性が低い<br>(2)植物の生育適期が短い<br>(3)国立公園に位置するため緑化用植物の制限を受ける                                     | (1)粘性土で冬季は低温となるので霜柱が発生する<br>(2)土壌硬度が23mm以上の部分もあり, 根の侵入が阻害される<br>(3)降水量が多く, 降雨浸食を受ける                                                          | (1)軟岩部は根の侵入が阻害される<br>(2)軟岩部は節理にしたがった滑落が発生する<br>(3)晩秋及び春先に凍結, 融解現象による滑落が発生する<br>(4)積雪害がある<br>(5)植物の生育適期が短い                             | (1)保肥性がやや低いことはあるが, 生育適期の気温, 降水量とも植物の生育に好ましいものである |
| 緑 化 工 の 方 針  |           | 土の中に生育阻害物質を含むことと, 強酸性であることが, 最大の問題であり, 造成した植基盤だけで生育を維持できる植生工を採用する。そのための適当な吹付厚さを検討する。<br>(1)乾燥害, 痩せ地に耐える植物を導入する。<br>(2)強酸性等の阻害因子に耐える植物を導入する。<br>(3)(4)寒地に耐える植物を導入する。<br>(5)導入植生の良好な被覆を経年的に維持する。 | 国立公園内に位置するので, 在来草本及び木本類による緑化手法を確立する。<br>(1)乾燥害, 痩せ地に耐える植物を導入する。<br>(2)寒地に耐える植物を導入する。<br>(3)木本類, 在来草本を導入する。 | 冬季の凍結, 融解現象による表面の滑落が発生するので, それに耐える緑化手法を確立する。<br>(1)緑化基礎工として金網張工を併用する。<br>(2)根糸が深く侵入する植物を導入する。<br>(3)植生の衰退がない植生をつくる。<br>(導入植生からの遷移が円滑に進行する植生) | 軟岩部は表面の滑落の防止及び適当な吹付厚の検討が必要である。土砂部も含めると浸食及び凍上等による滑落の防止が必要である。<br>(1)適当な吹付厚さを検討する。<br>(2)(3)(4)緑化基礎工として金網張工を併用する。<br>(5)は寒地に耐える植物を導入する。 | 緑化上の問題点は小さいので, 経済性を重視して設計する。<br>クラムシロ張工を採用している。  |

### 1. 3 調査方法

現地調査は、試験施工後3回実施されているが、各回の調査共に次の事項を骨子として行なわれている。

- ①試験地の各試験工区の植生状況調査
- ②試験地全体あるいは各試験地毎の浸食や凍上の有無等の見取り調査
- ③試験施工地の気象データの収集

上記③については、試験地近傍の観測所（建設省又は気象庁）における気温及び降水量のデータを収集した。

①②は現地調査である。この概要を以下に示す。

#### 1. 3. 1 現地調査

##### 1) 調査概要

現地調査は各試験工区毎に設置された固定コドラートでの植生状況の調査を主体としている。試験終了後（あるいは調査前）に1m×1m（1㎡）の大きさのコドラートを各試験工区毎に3ヶ所設置し、このコドラート内の植生の被度、群度、生育高等を測定した。また、施工2年後の調査では、木本類の大型化に伴い1㎡コドラートでは植物の大きさに対応できない工区も生じたため、新たに3.2m×3.2m(10㎡)コドラートを設置し、1㎡コドラートとほぼ同様な調査を行った。その他、調査年度により調査方法等に若干の相違があるため、これをまとめて表-1・3に示す。

表-1・3 調査概要

○ … 実施

|                   | 施工当年<br>(昭和62年度) | 施工1年後<br>(昭和63年度)                | 施工2年後<br>(平成元年度)                  |
|-------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1㎡コドラート調査         | ○                | ○                                | ○(群度, 草本密度を省略)                    |
| 10㎡コドラート調査        |                  |                                  | ○                                 |
| コドラート毎の<br>浸食状況調査 |                  | ○                                | ○                                 |
| その他<br>の相違事項      | 新庄は翌年7月に<br>調査   | 浸食階級区分表を<br>作成しこれに基い<br>て浸食状況を調査 | 10㎡コドラートを新<br>設。侵入植物も調<br>査対象とした。 |

コドラードによる調査フローを図-1・1に示す。

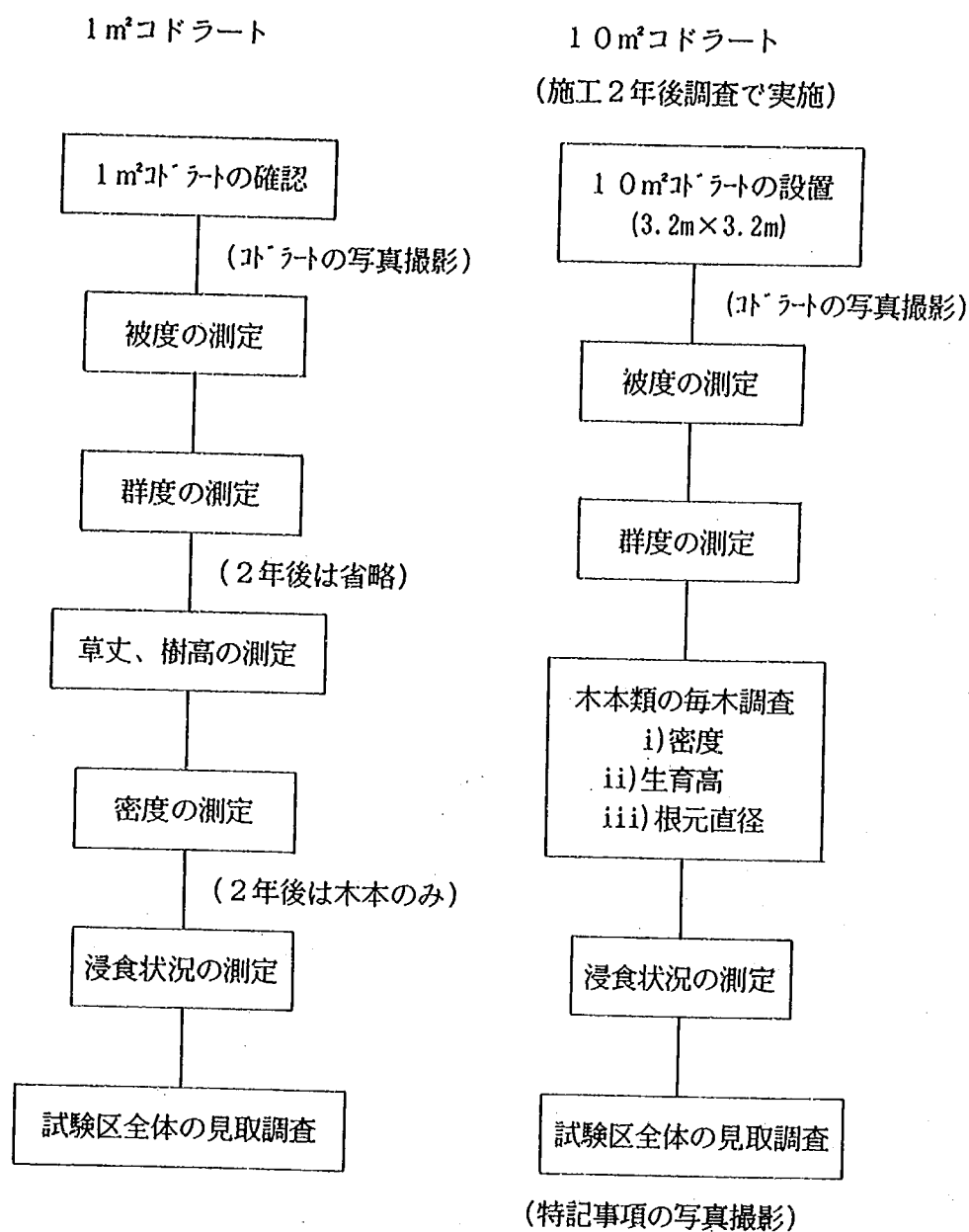


図-1・1 調査フロー

## 2) 調査方法

以下に各項目の調査方法を示す。

### (1) 1 m²コドラート

各試験区毎に3箇所設置し、融雪等により損傷がある場合右のような重ね枠に復元する。

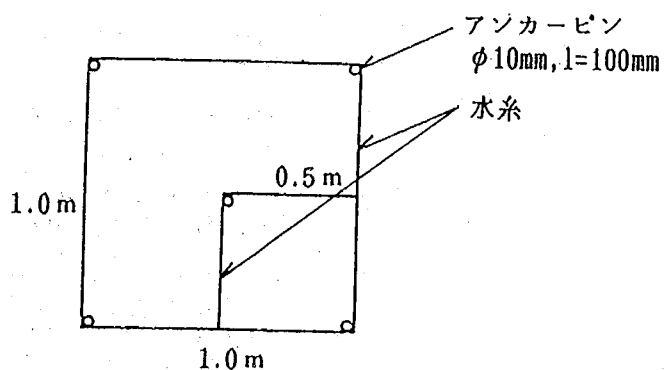


図-1・2 1 m²コドラート

## (2) 10m<sup>2</sup>コドラーとの設置

10m<sup>2</sup>コドラーとは、各試験区の植生状況を代表する位置に1箇所設置する。

大きさは、3.2m×3.2mを標準とする。

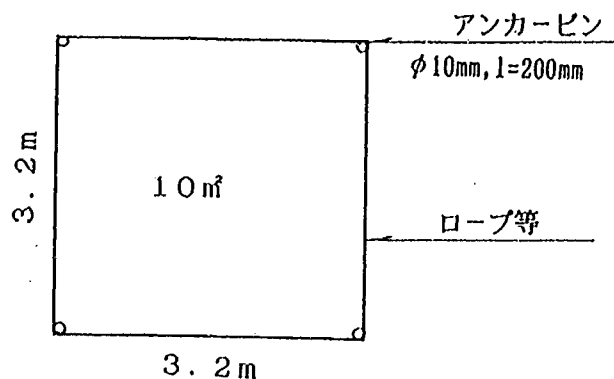


図-1・3 10m<sup>2</sup>コドラー

## (3) 被度の測定 (1m<sup>2</sup>コドラー、10m<sup>2</sup>コドラー)

各植物の地上における広がり、地上部の地表面に対する撮影面積を目視によって測定する。

被度 = (各植物冠部のコドラーの投影面積) / (コドラーの投影面積)

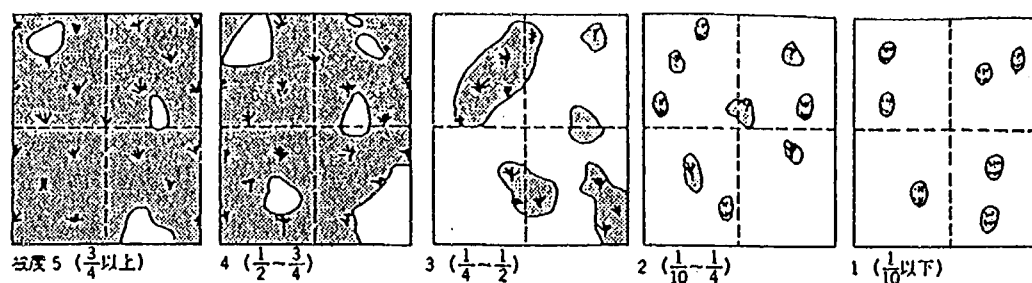


図-1・4 被度の模式

表-1・4 被度の階級区分

| 階級 | 被 度                                                       | 中央値   |
|----|-----------------------------------------------------------|-------|
| 5  | 被度が調査面積の75~100%(3/4以上)占めて占めているもの。                         | 87.5% |
| 4  | 被度が調査面積の50~75%(1/2~3/4)を占めているもの。                          | 62.5% |
| 3  | 被度が調査面積25~50%(1/4~1/2)を占めているもの。                           | 37.5% |
| 2  | 固体数が極めて多い、または、少なくとも被度が10~25%(1/10~1/4)を占めている。             | 17.5% |
| 1  | 固体数が多いが被度が低い、または、固体数が多いが散在している。また、被度が1~10%(1/20)以上を占めている。 | 5.0%  |
| +  | 固体数が少なく、被度も低い(1%以下)                                       | 0.1%  |

(4) 群度の測定 (1m<sup>2</sup>コドラート、10m<sup>2</sup>コドラート)

群度は各植物がどのように配分されているかを調べるもので、被度の多少とは関係なく、配分状況のみが対象となる。

目視により、各植物がどのように生育しているかを表-1・5に従い測定する。

表-1・5 群度の階級区分

| 階 級 | 生 育 状 況                          |
|-----|----------------------------------|
| 5   | ある種が調査区内にカーペット状に一面に生育している。       |
| 4   | 大きな斑状、または、カーペット状のあちこちに穴が空いている状態。 |
| 3   | 小斑状に生育している。                      |
| 2   | 小群状、または、株状と点状が混在している。            |
| 1   | 単独に生育している。(点状)                   |

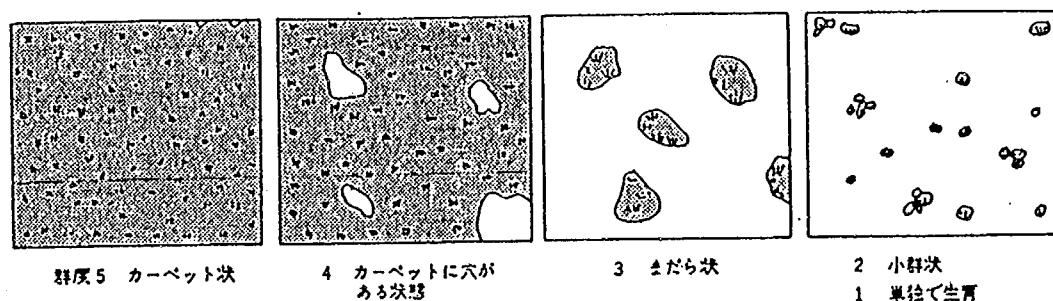


図-1・5 群度の模式

(5) 密度の測定 (1m×1mコドラート、10m<sup>2</sup>コドラート)

1m×1mコドラードでは、0.5m×0.5m枠内で測定する。

10m<sup>2</sup>コドラードでは、木本類だけを測定し、全体数を測定する。

ハギ類のように萌芽性のものは、各々の萌芽を数えて本数とする。

芽生えについても1本として数える。

## (6) 生育高の測定 (1m×1mコドラート、10㎡コドラート)

### ①1m×1mコドラート

種ごとに5個体を測定し、その平均値を求める。5個体の中には生育高の最大のものを含み、その他は平均的なものを選び測定する。

#### ・草丈の測定方法

各植物の地面際から最先端の葉片の先までの全長を測定する。従って下に垂れている葉を伸ばして測定する。

イネ科以外の木本類や在来草本などの場合は成長点までの長さを測定する。

#### ・草高の測定方法 (自然高)

コドラート内で各植物の平均的な高さと思われるものを自然状態 (葉が下に垂れている場合など) のまま測定する。

イネ科草本類など出穂している場合は葉部について測定し、穂の高さは参考としてカッコ内に記入する。

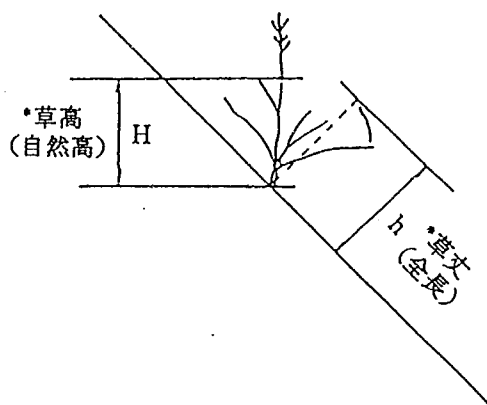


図-1・6 草高と草丈

### ②10㎡コドラート

測定は木本類のみとし、各個体の自然高を測定する。ただし、各植物の個体数が15本を越える場合は、大、中 (平均的なもの)、小に分け、各5本、計15本の測定を行う。

## (7) 木本類毎木調査 (10㎡コドラート)

10㎡コドラートにおいて、木本類の各植物について、次の3項目の測定をおこなう。

### I) 密度

### II) 生育高

### III) 根元直径

I)、II) については、それぞれ前記の⑤密度の測定、⑥生育高の測定により測定する。

III) 根元直径は、密度の測定時に1本と数えた全ての個体について根元直径を測定する。

(8) 浸食状況の測定 (1m<sup>2</sup>コドラート10m<sup>2</sup>コドラート)

各コドラート内における侵食の発生程度は、基材の流出の程度や地山の状態を基準にした浸食の階級区分表(表-1・6)に従って測定した。

表-1・6 侵食の階級区分

| 階級 | 種子散布工                                                                                                                                                                                                                                                                     | 客土種子吹付工                                                                                                                  | 厚層基材吹付工                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 散布材料の流出は殆どない</li> <li>・ 地山の浸食はない</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材の浸食は殆どない</li> <li>・ 基材色(吹付材料の色)は100%残る</li> <li>・ 地山の浸食はない</li> </ul>         | 同左                                                                    |
| 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 散布材料の流出はあるが地山は浸食を受けていない</li> </ul>                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材の浸食は50%程度</li> <li>・ 基材色は90%以上残る</li> <li>・ 地山の浸食はない</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 表面が洗われた状態</li> </ul>         |
| 3  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 散布材料は殆ど流出している</li> <li>・ シートエロージョンが発生している</li> </ul>                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材の厚さは失われた状態である</li> <li>・ 基材色は50~90%</li> <li>・ 地山はシートエロージョン程度である</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材にリルエロージョンの発生がある</li> </ul> |
| 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リルエロージョンが発生している(深さ3cm以下)</li> </ul>                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材の厚さはない</li> <li>・ 基材色は50%以下</li> <li>・ 地山にリルエロージョンが発生している(深さ3cm以下)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地山が僅かに露出する(10%以下)</li> </ul> |
| 5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リル・ガリエロージョンが発生している(深さ3cm以上)</li> </ul>                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基材の厚さはない</li> <li>・ 基材色はない</li> <li>・ 地山にリル・ガリエロージョンが発生している(深さ3cm以上)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地山が露出する(10%以上)</li> </ul>    |
| 備考 | <p>a. シートエロージョン (Sheet erosion, 表面浸食) : 法面の全面の土壌が薄層で浸食される状態で、まだ雨裂を全然生じない段階である。</p> <p>b. リルエロージョン (Rill erosion, 細流浸食) : 流下水が集まって細流になり、小さい溝(雨裂ともいう)を生じる段階である。この段階から浸食被害が認められるようになる。</p> <p>c. ガリエロージョン (Gully erosion, 地隙浸食) : 流下水がさらに集し、水量及び流速が増加し、V字形の深い溝を生じる段階である。</p> |                                                                                                                          |                                                                       |

### 1. 3. 2 データの集計方法

1 m<sup>2</sup>コドラートは各試験工区毎に3ヶ所設置されており、個々のコドラートの測定結果を集計して各試験工区の測定値としている。また10m<sup>2</sup>コドラートは各試験工区の植生状況を代表する箇所に1ヶ所設置されており、10m<sup>2</sup>コドラートでの測定結果をそのまま試験工区の代表として用いている。これら測定値を集計して各試験工区の代表値とする際の集計方法には次の方法で行っている。

#### 1) 1 m<sup>2</sup>コドラートの集計

##### イ) 被度、群度、密度

3つのコドラートの値を植物毎に平均する。

##### ロ) 被覆率

各植物毎にその被度階級をもとに以下の算出式で被覆率を算出し、この値をコドラートで平均する。

$$\text{植物(a)の被覆率(\%)} = \frac{a}{(a + b + c \cdots n)} \times S$$

a, b, c --- n ----- 各植物の被度階級を被覆率に換算した値（中央値）

| 被 度 階 級    | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    |
|------------|---|------|------|------|------|
| 被覆率の中央値（%） | 5 | 17.5 | 37.5 | 62.5 | 87.5 |

S ----- 目視により測定したコドラートの総被覆率

#### 2) 10 m<sup>2</sup>コドラート

##### イ) 被度、群度、密度

測定値をそのまま試験工区の代表値とする。

##### ロ) 樹高

各コドラートで最大15本測定した値を平均する。

##### ハ) 被覆率

植物毎の被覆率を1 m<sup>2</sup>コドラートと同様な方法で算出する。

## 2. 各緑化工法における生育状況の推移及び傾向

### 2. 1 各試験地の調査結果概要及び生育状況の推移

#### 2. 1. 1 新庄工事

当試験地の試験区分は、4植生工種×4種子配合=16工区で設定されており植生工種や種子配合同士の比較には理想的な設定となっている。但し、施工のり面は4箇所に分かれており、各試験区は必ずしも同一条件にはないことには注意すべきである。

追跡調査は、施工が11月に行なわれたために、施工当年の調査は行なわれておらず、施工翌年7月（'88年）、同年10月、2年後9月（'89年）に行なわれている。植生推移の状況を図-2・1・1～図-2・1・16に示す。

当地は多雪、寒冷であることに加え、無植生の状態で越冬したために、種子散布工、客土種子吹付工1cm厚では、吹付材料の大部分が浸食を受けて失なわれていた。このため、この2工種については、他の工種に比べて植生の推移もかなり異っている。

植生工種別に植生状況の推移について述べる。

##### 1) 種子散布工

前述のように、吹付材料が冬期の浸食によって失なわれたために、浸食を免れた一部分を除いては播種した植物の生育は少なく、当初の植生被覆は低い状態であった。しかし、施工翌年秋になるとススキ、クズ、タニウツギ等の植物が侵入し、施工2年後にはそれらの植物は量的には播種した植物を上回って生育し、全体の植生被覆も向上している。

導入した植物については、外来草本は当初比較的生育の良好であった箇所においても施工2年後には衰退している。木本類はヤマハギ、イタチハギ、ヤシャブシが侵入植物と混生して点在している程度であり、植生の主体とはなっていない。

##### 2) 客土種子吹付工（1cm厚）

当工種においても、種子散布工と同様に、吹付材料の大部分は冬期の浸食により失なわれている。このために当工種でも、施工翌年は植生被覆は低い状態であった。施工2年後になると、5、7工区では導入したハギ類が成長したことや、周辺からミヤマカワラハンノキ等が侵入したことにより植生被覆は向上している。一方、6、8工区では、2年後には外来草本がやや衰退したにもかかわらず侵入植物は増加しなかったため、植生被覆は減少している。

##### 3) 客土種子吹付工（2cm厚）

客土種子吹付工は、前記の1cm厚では吹付材料に砂質土、2cm厚では有機質基材を使用している。1cm厚

では冬期に吹付基材の大部分が失われたのに対し、2 cm厚では浸食がほとんどなく、吹付厚の差を考慮しても、有機質基材は耐浸食性が高いと考えられた。

2 cm厚では、施工初年度は外来草本の生育が旺盛で外来草本主体の植生であった。施工2年後になると工区によっては(11、12工区)外来草本がやや衰退する傾向を見せ、導入木本(イタチハギ)や侵入木本(ミヤマカワラハンノキ)が増加する傾向にある。

また、11、12工区は初工翌年から法面下部にフキが多く生育している。フキは、地山内部に以前からあった地下茎から増殖したものと考えられる。

#### 4) 厚層基材吹付工(3 cm厚)

当工種の植生状況は、客土種子吹付工2 cm厚と類似しているが、施工2年後と なっても外来草本の衰退は生じておらず、全工区共外来草本主体の植生となっている。このために在来草本や木本類は被圧を受けて生育は劣り、当初多数の発芽が見られたイタチハギも施工2年後には大きく密度が減少し、法肩等の一部に生育しているに過ぎない。

表-2・1・1 工種区分 (新庄)

| 試験区  | 緑化基礎工 | 植 生 工           | 種 子 配 合 |
|------|-------|-----------------|---------|
| 1工区  | 金網張工  | 種子散布工           | 配合①     |
| 2工区  | 金網張工  | 種子散布工           | 配合②     |
| 3工区  | 金網張工  | 種子散布工           | 配合③     |
| 4工区  | 金網張工  | 種子散布工           | 配合④     |
| 5工区  | 金網張工  | 客土種子吹付工 (1 cm厚) | 配合①     |
| 6工区  | 金網張工  | 客土種子吹付工 (1 cm厚) | 配合②     |
| 7工区  | 金網張工  | 客土種子吹付工 (1 cm厚) | 配合③     |
| 8工区  | 金網張工  | 客土種子吹付工 (1 cm厚) | 配合④     |
| 9工区  | 金網張工  | 客土種子吹付工 (2 cm厚) | 配合①     |
| 10工区 | 金網張工  | 客土種子吹付工 (2 cm厚) | 配合②     |
| 11工区 | 金網張工  | 客土種子吹付工 (2 cm厚) | 配合③     |
| 12工区 | 金網張工  | 客土種子吹付工 (2 cm厚) | 配合④     |
| 13工区 | 金網張工  | 厚層基材吹付工 (3 cm厚) | 配合①     |
| 14工区 | 金網張工  | 厚層基材吹付工 (3 cm厚) | 配合②     |
| 15工区 | 金網張工  | 厚層基材吹付工 (3 cm厚) | 配合③     |
| 16工区 | 金網張工  | 厚層基材吹付工 (3 cm厚) | 配合④     |

表-2・1・2 種子配合表 (新庄)

| 植物名    | 平均粒数<br>(粒/g) | 純 度<br>(%) | 発 芽 率<br>(%) | 有効粒数<br>(粒/g) | 配 合 ①                        |                               | 配 合 ②                        |                               | 配 合 ③                        |                               | 配 合 ④                        |                               |
|--------|---------------|------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|        |               |            |              |               | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) |
| K31F   | 450           | 100.0      | 96.0         | 432           | 1.3                          | 561                           | 1.3                          | 561                           | 2.7                          | 1,166                         | 5.4                          | 2,332                         |
| OG     | 1,150         | 100.0      | 79.0         | 908           | 0.6                          | 544                           | 0.6                          | 544                           | 1.1                          | 998                           | 2.2                          | 1,997                         |
| KBG    | 3,850         | 99.9       | 92.0         | 3,538         | 0.2                          | 707                           | 0.2                          | 707                           | 0.3                          | 1,061                         | 0.7                          | 2,476                         |
| ヨモギ    | 4,000         | 79.1       | 63.0         | 1,993         | 0.2                          | 398                           | --                           | --                            | 0.4                          | 797                           | --                           | --                            |
| ススキ    | 1,500         | 85.0       | 60.0         | 765           | 0.3                          | 229                           | --                           | --                            | 0.6                          | 459                           | --                           | --                            |
| メドハギ   | 650           | 100.0      | 87.0         | 565           | 1.1                          | 621                           | --                           | --                            | 2.2                          | 1,243                         | --                           | --                            |
| ヤマハギ   | 150           | 80.0       | 60.0         | 72            | 3.2                          | 230                           | --                           | --                            | 3.2                          | 230                           | --                           | --                            |
| イタチハギ  | 90            | 80.0       | 65.0         | 46            | 5.4                          | 248                           | --                           | --                            | 5.4                          | 248                           | --                           | --                            |
| ヤシャブシ  | 770           | 60.0       | 50.0         | 231           | 0.9                          | 207                           | 0.9                          | 207                           | 0.9                          | 207                           | --                           | --                            |
| ヤマハンノキ | 1,250         | 90.0       | 25.2         | 283           | 0.5                          | 141                           | 0.5                          | 141                           | 0.5                          | 141                           | --                           | --                            |

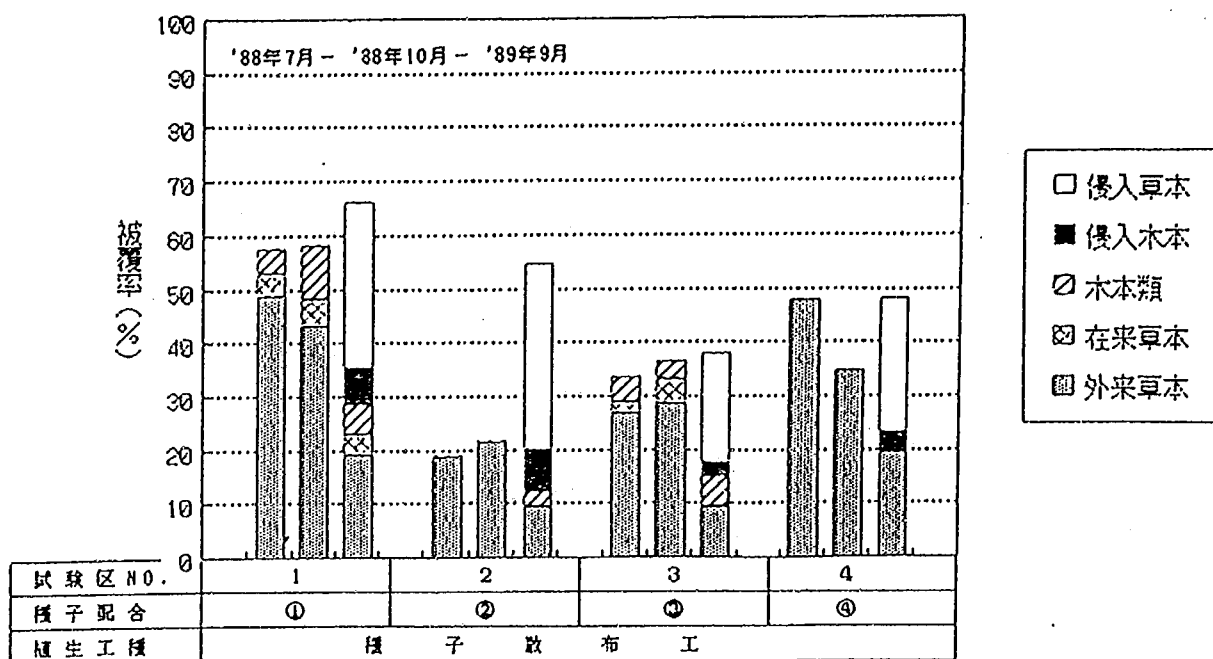


図-2・1・1 被覆率の推移

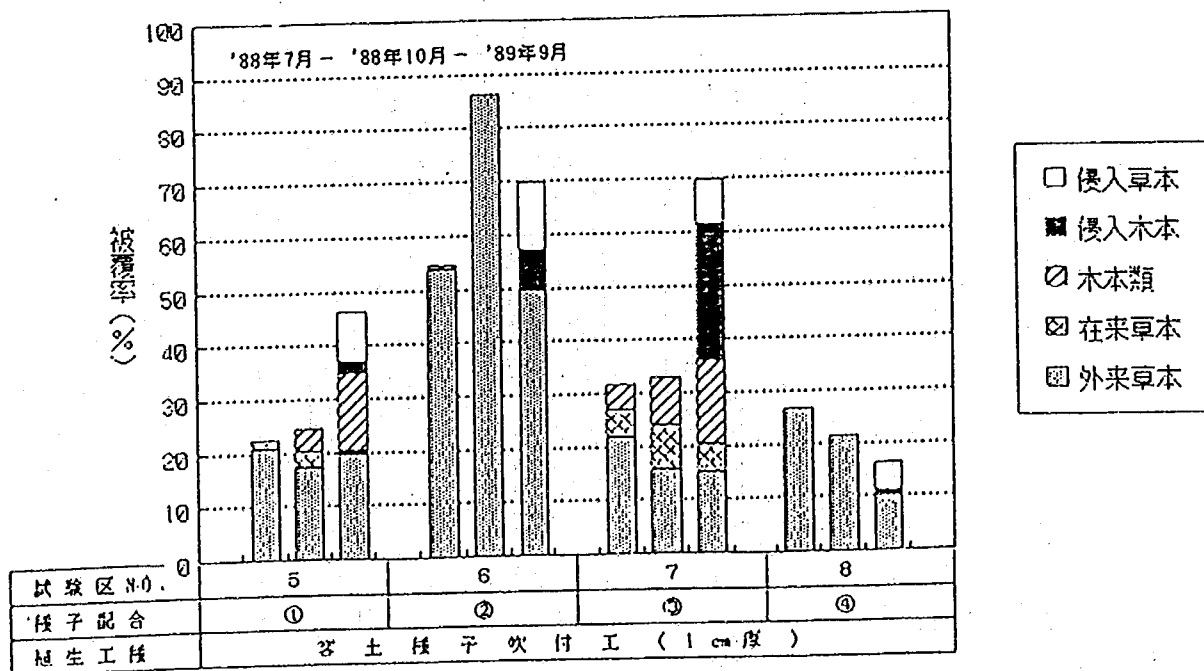


図-2・1・2 被覆率の推移

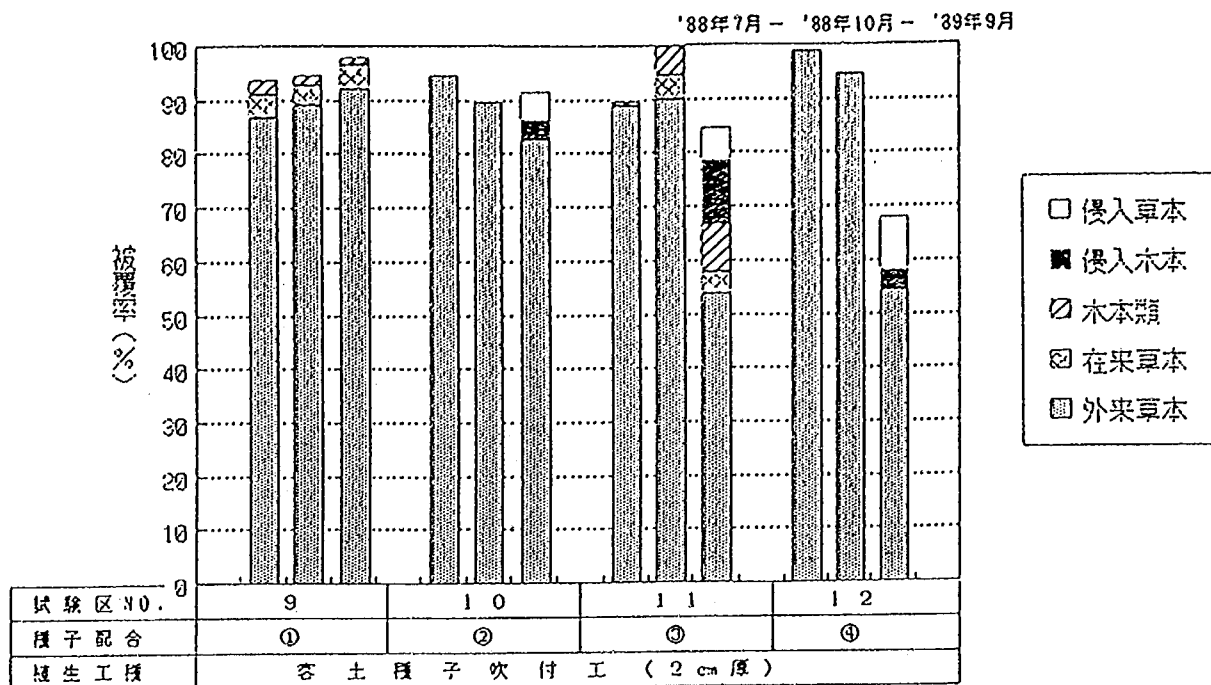


図-2・1・3 被覆率の推移

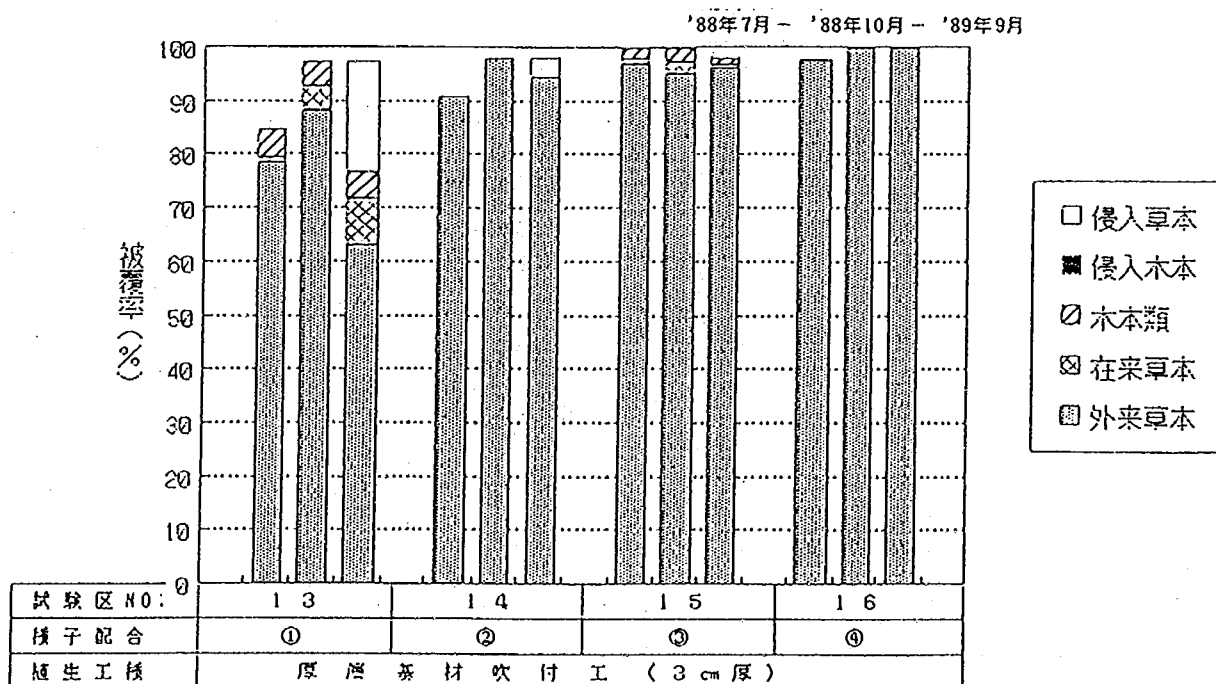


図-2・1・4 被覆率の推移

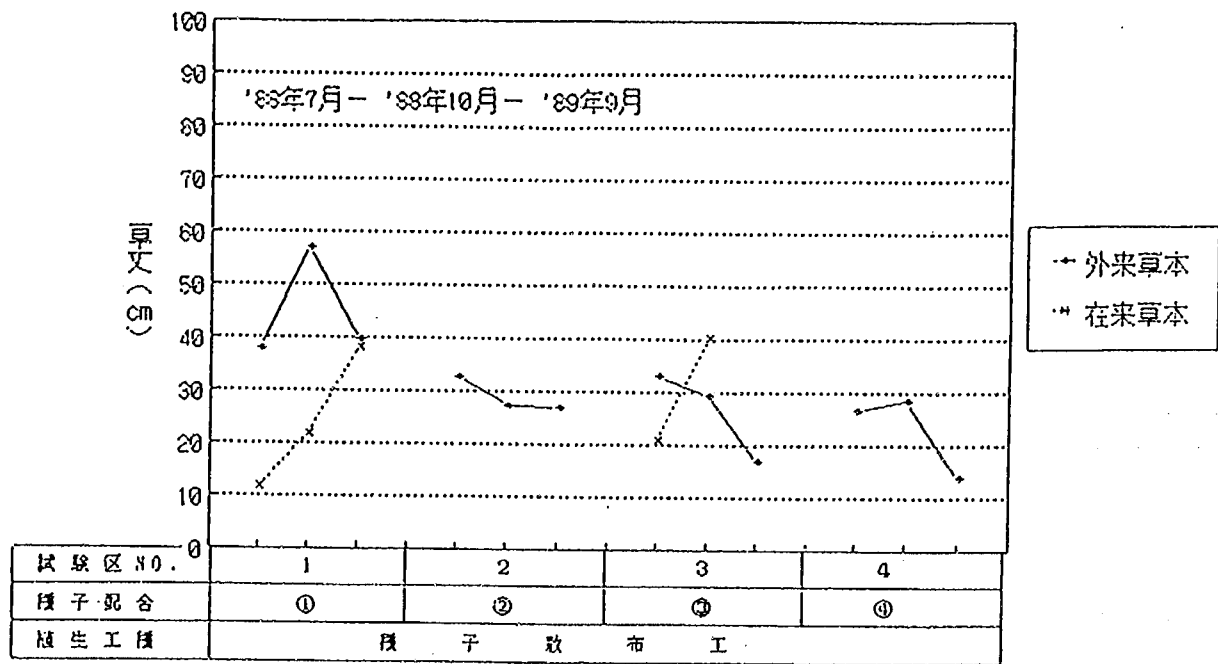


図-2・1・5 草丈の推移

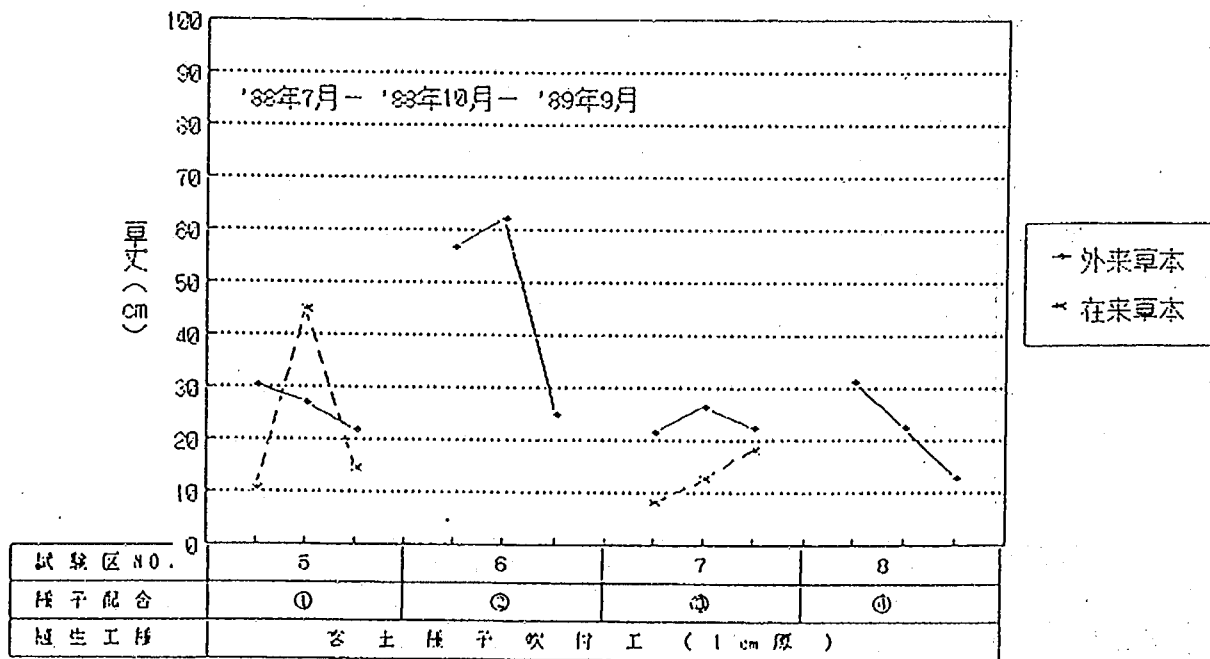


図-2・1・6 草丈の推移

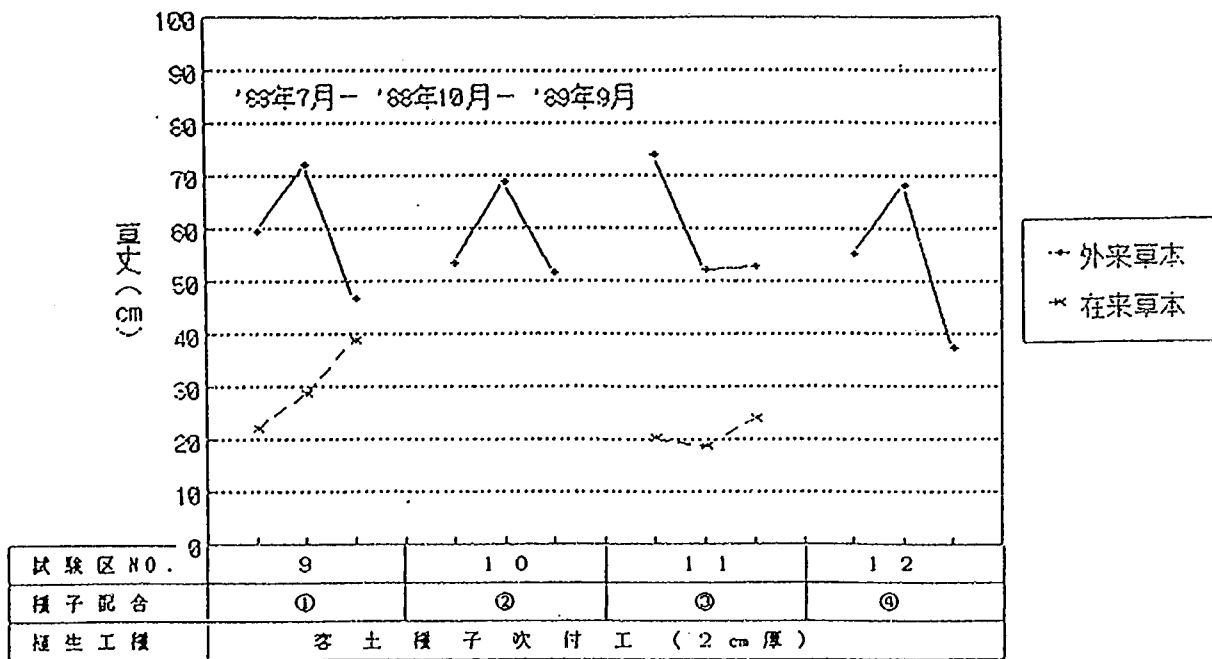


図-2・1・7 草丈の推移

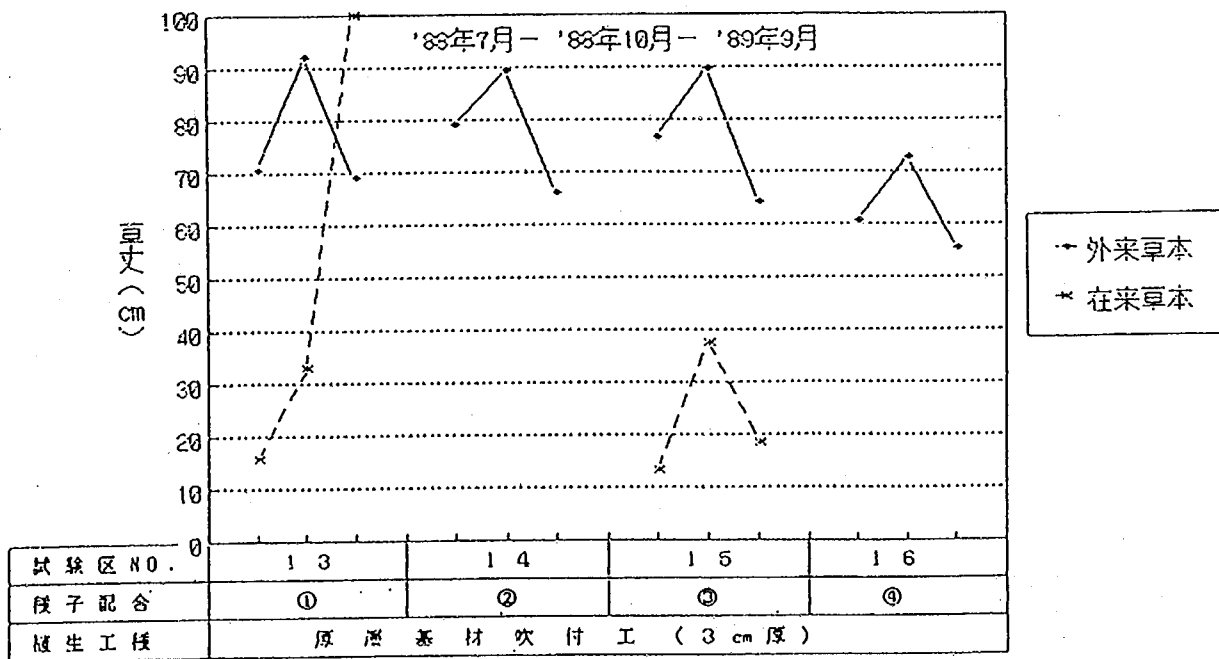


図-2・1・8 草丈の推移

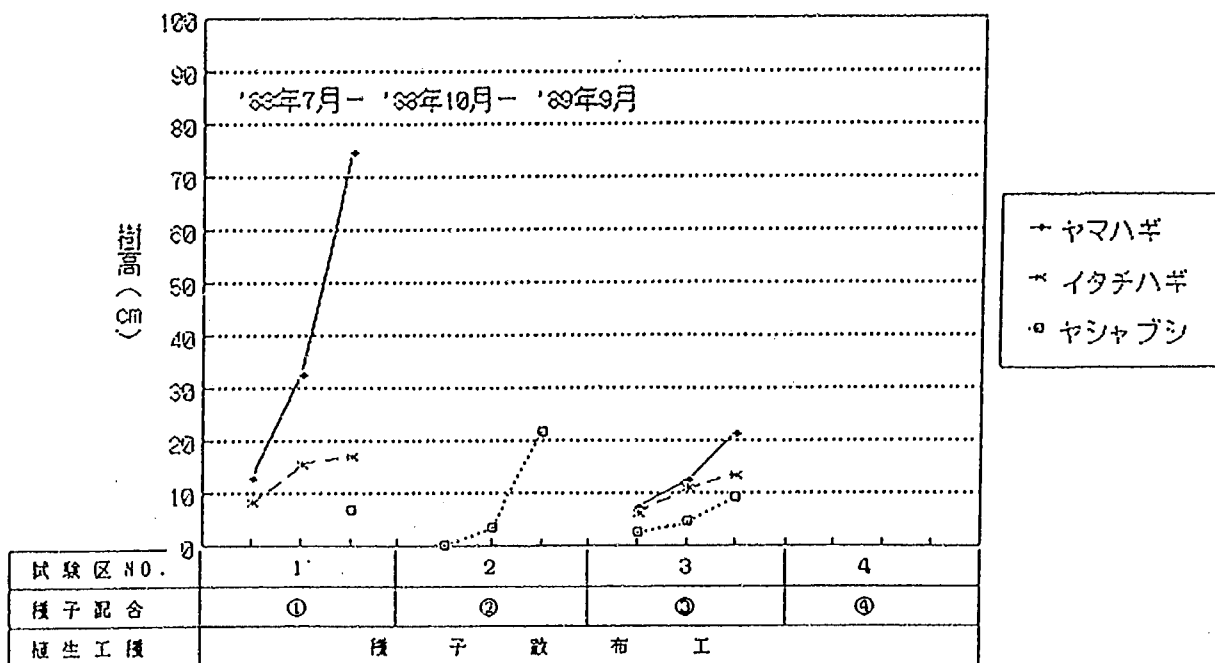


図-2・1・9 樹高の推移

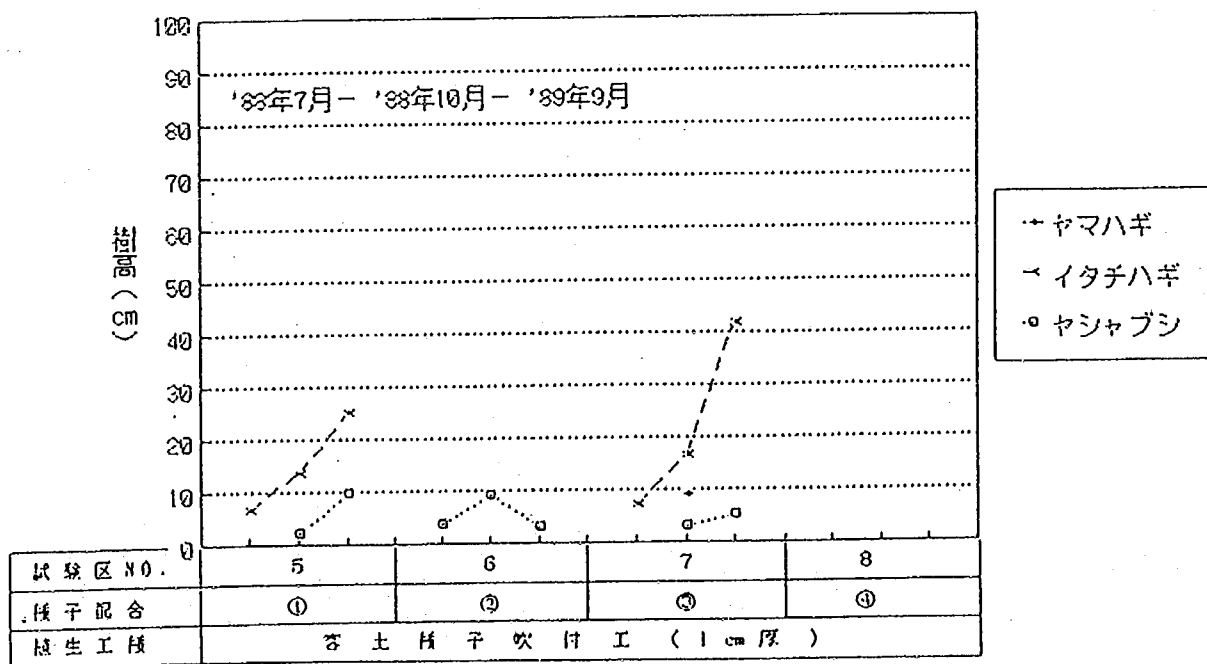


図-2・1・10 樹高の推移

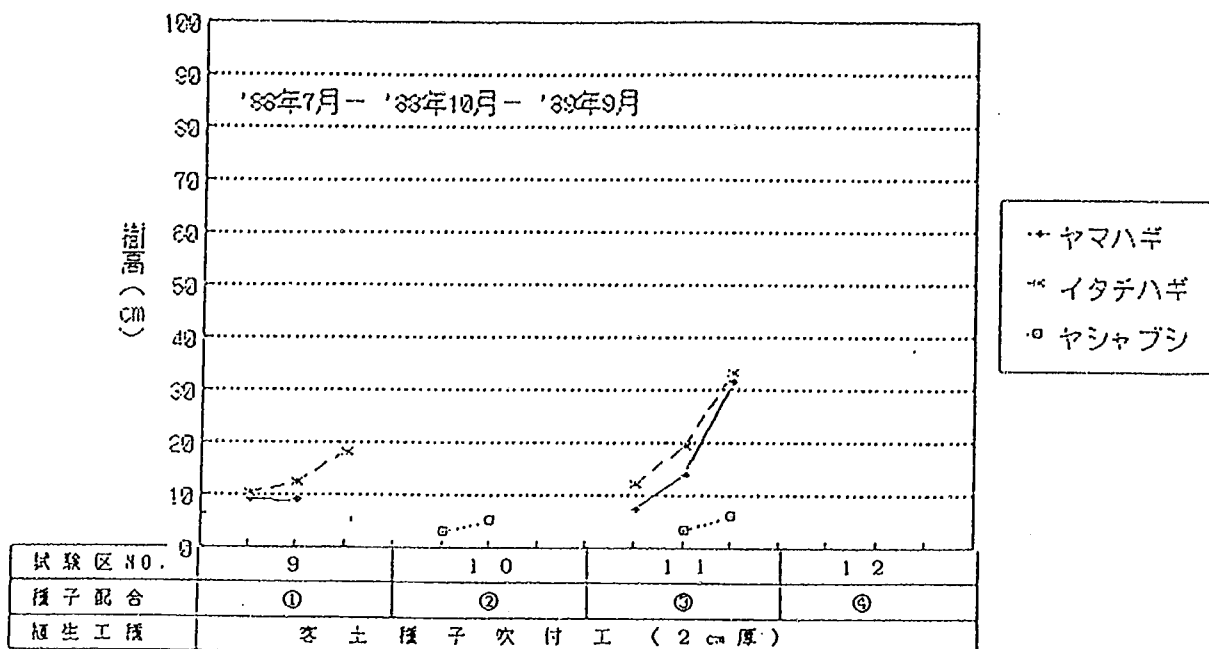


図-2・1・11 樹高の推移

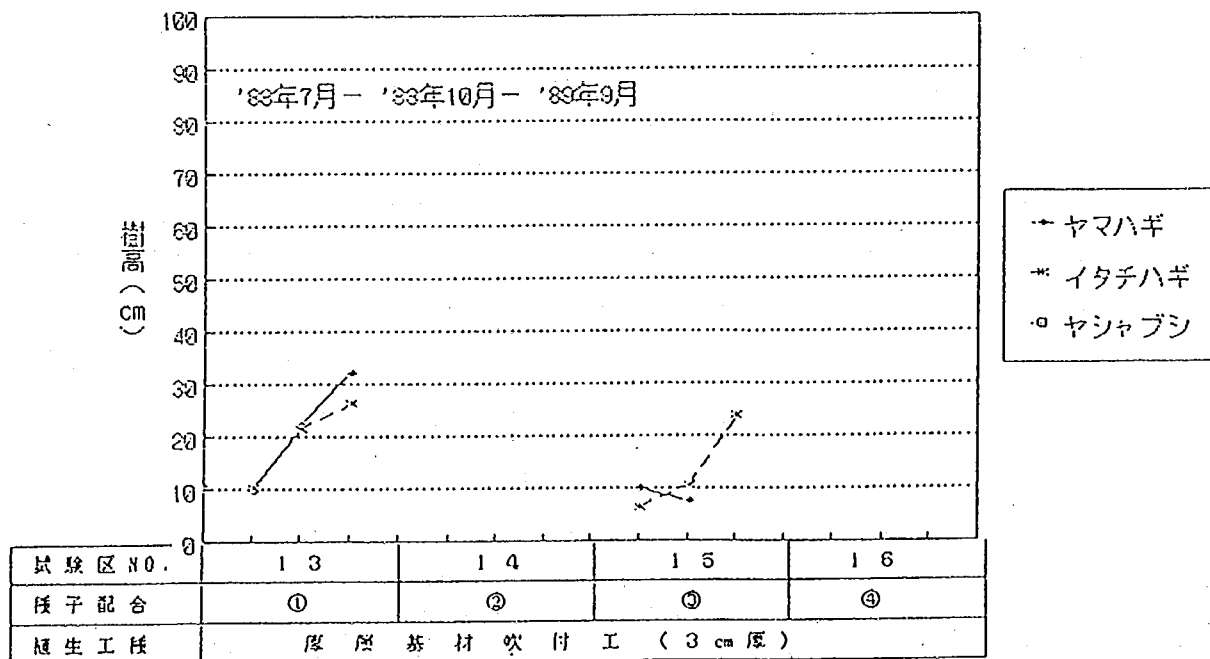


図-2・1・12 樹高の推移

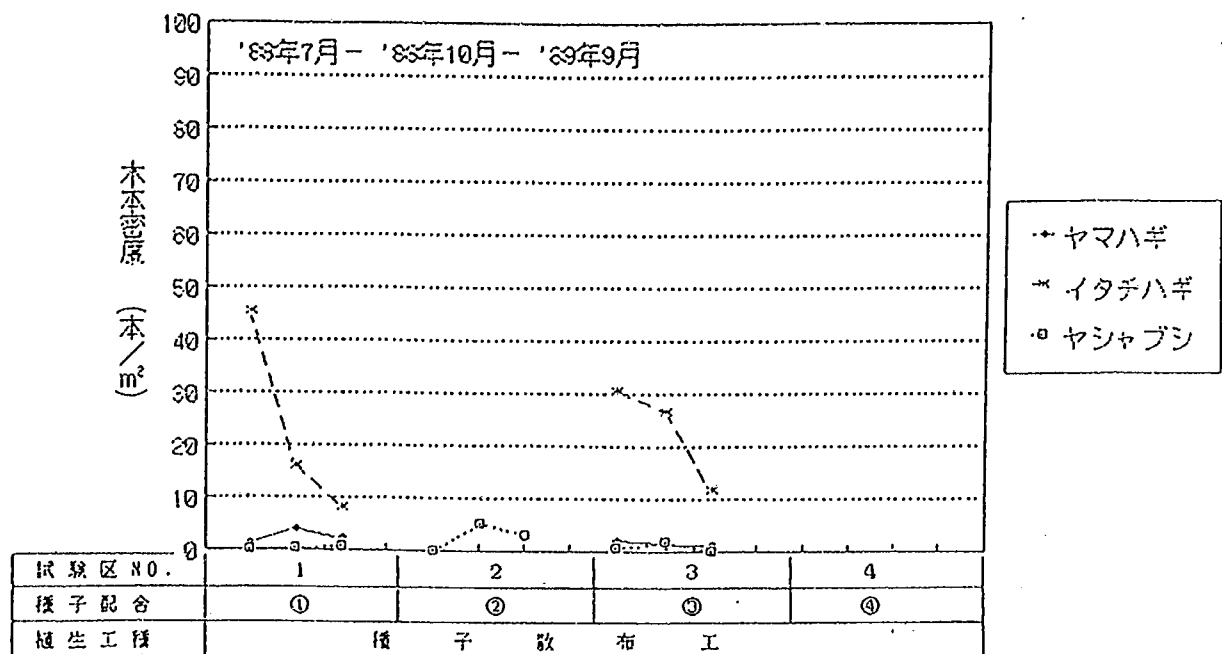


図-2・1・13 木本密度の推移

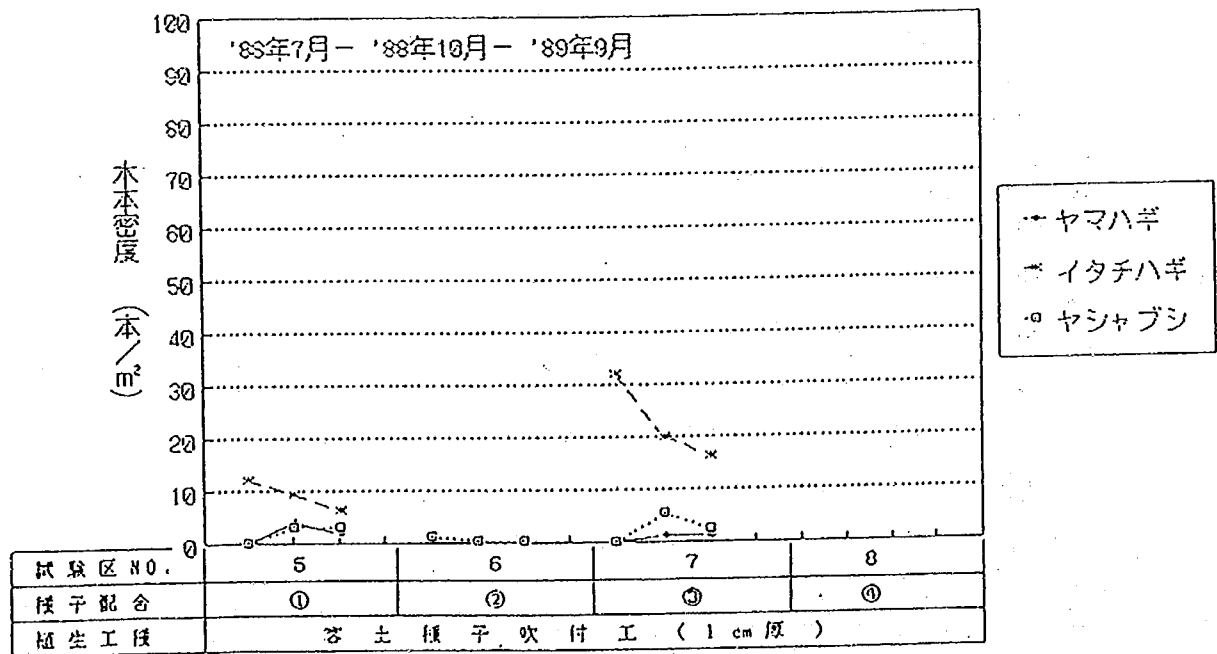


図-2・1・14 木本密度の推移

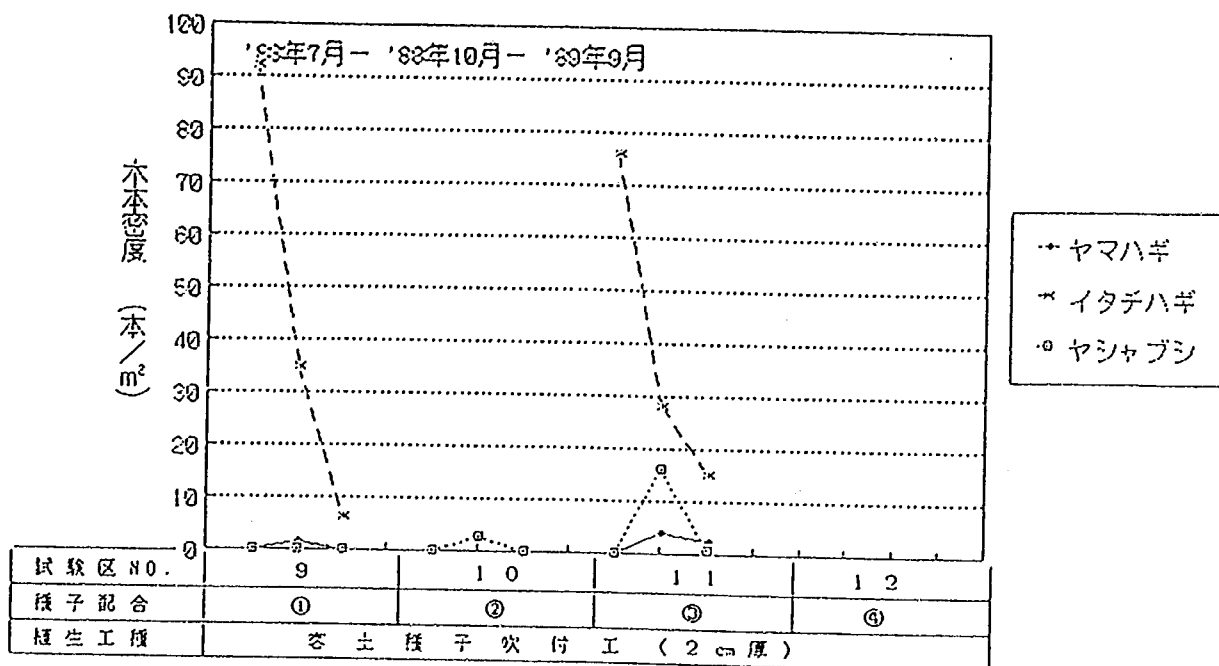


図-2・1・15 木本密度の推移

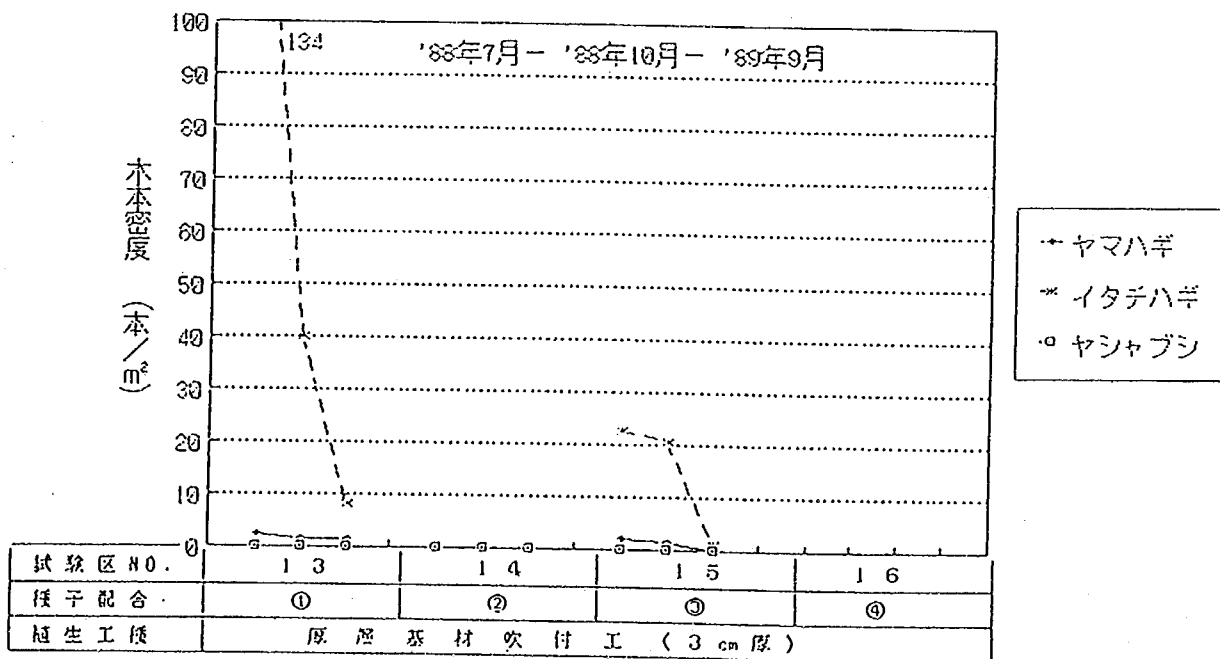


図-2・1・16 木本密度の推移

## 2. 1. 2 渡良瀬川工事

当試験地は、土質、勾配、方位共に均一な盛土法面に全試験区が設定されていることから、同一の立地条件になっている。このため、植生工種や種子配合の相違を検証するには好条件であると言える。

試験区分は、種子散布工、客土種子吹付工、厚層基材吹付工の3工種が行われ、客土種子吹付工と厚層基材吹付工では吹付厚さが段階的に設定されている。種子配合は草本類の播種量が2段階に設定され、各種子配合が3植生工種において試験されている。

施工は'87年8月であり、調査は同年11月、翌年9月('88年)、2年後9月('89年)に行なわれている。植生推移の状況を図-2・1・17～図-2・1・28に示す。

植生工種別の植生推移の状況は次のようであった。

### 1) 種子散布工

施工当年度の当工種の植生の特徴は、植物の生育に場所的なばらつきがあり、被覆の高い箇所と低い箇所の差が大きいことであったが、1年後、2年後となってもこの傾向は継続している。この生育の場所的なばらつきは、種子散布工にのみ生じているが、この原因としては、施工の誤差(不均一な吹付)によるものと、地山条件の相違によるものが考えられる。種子散布工は、吹付厚で管理できず施工のスピードも速いため、細心の注意を払って施工したとしても吹付の濃淡が生じやすい。また、均一に吹付けたとしても種子散布工では生育基盤がないため、植物の発芽、生育は地山の諸条件の影響を極めて受けやすく、成立した植生にも場所による差異が生じやすい。当工区の植生のばらつきの原因は上記のどちらによるものか特定はできないが、種子散布工は本来このような特質を持つものであることは、銘記しておくべきであろう。

### 2) 客土種子吹付工(1, 2, 3, 5cm厚)

各工区共に施工当年度は、外来草本がまばらに生育する程度であったが、翌年以降は在来草本(メドハギ)、木本類(イタチハギ、ヤマハギ)の成長が目立ち、2年後になると1～3cm厚ではハギ類、木本(メドハギ、イタチハギ、ヤマハギ)が密生した植生となり、外来草本は逆に衰退傾向にある。これに対し5cm厚では植生状況はやや異なり、2年後でも外来草本はまだ優勢であり、在来草本、木本類の生育は1～3cm厚に比較するとやや劣っている。

### 3) 厚層基材吹付工(3, 5, 7, 10cm厚)

当工種は、吹付厚さに無関係にほぼ同様な植生推移を示し、施工1年後には全工区が外来草本の密生した植生となり、2年後でもこの状態が継続している。在来草本や木本類は施工初年度に発芽は見られたものの、1年後にはほとんど消滅している。

表-2・1・3 工種区分 (渡良瀬)

| 試験区 | 緑化基礎工 | 植 生 工           | 種子配合 |
|-----|-------|-----------------|------|
| a   | 金網張工  | 種 子 散 布 工       | (1)  |
| a'  | 金網張工  | 種 子 散 布 工       | (2)  |
| b   | 金網張工  | 客土種子吹付工(1 cm 厚) | (1)  |
| b'  | 金網張工  | 客土種子吹付工(1 cm 厚) | (2)  |
| c   | 金網張工  | 客土種子吹付工(2 cm 厚) | (1)  |
| c'  | 金網張工  | 客土種子吹付工(2 cm 厚) | (2)  |
| d   | 金網張工  | 客土種子吹付工(3 cm 厚) | (1)  |
| d'  | 金網張工  | 客土種子吹付工(3 cm 厚) | (2)  |
| e   | 金網張工  | 厚層基材吹付工(3 cm 厚) | (1)  |
| e'  | 金網張工  | 厚層基材吹付工(3 cm 厚) | (2)  |
| f   | 金網張工  | 客土種子吹付工(5 cm 厚) | (1)  |
| g   | 金網張工  | 厚層基材吹付工(5 cm 厚) | (1)  |
| h   | 金網張工  | 厚層基材吹付工(7 cm 厚) | (1)  |
| i   | 金網張工  | 厚層基材吹付工(10cm 厚) | (1)  |

表 - 2 ・ 1 ・ 4 種子配合表 (渡良瀬)

| 植 物 名     | 平均粒数<br>(粒/g) | 純 度<br>(%) | 発 芽 率<br>(%) | 有効粒数<br>(粒/g) | 種子配合 (1)                     |                               | 種子配合 (2)                     |                               |
|-----------|---------------|------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|           |               |            |              |               | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) |
| K 3 1 F   | 450           | 100.0      | 92.0         | 414           | 1.3                          | 540                           | 2.7                          | 1,120                         |
| O G       | 1,150         | 100.0      | 79.0         | 908           | 0.6                          | 540                           | 1.1                          | 1,000                         |
| K B G     | 3,850         | 85.0       | 63.0         | 2,061         | 0.2                          | 410                           | 0.3                          | 620                           |
| ヨ モ ギ     | 4,000         | 79.1       | 64.0         | 2,024         | 0.2                          | 400                           | 0.4                          | 810                           |
| メ ド ハ ギ   | 650           | 100.0      | 82.0         | 533           | 1.1                          | 590                           | 2.2                          | 1,170                         |
| ス ス キ     | 1,500         | 74.0       | 14.0         | 155           | 0.3                          | 50                            | 0.6                          | 90                            |
| イ タ ド リ   | 550           | 85.0       | 23.0         | 107           | 2.7                          | 290                           | 5.4                          | 580                           |
| ヤ マ ハ ギ   | 150           | 97.0       | 5.0          | 7             | 3.2                          | 20                            | 3.2                          | 20                            |
| イ タ チ ハ ギ | 90            | 98.0       | 32.0         | 28            | 5.4                          | 150                           | 5.4                          | 150                           |
| ヤマハンノキ    | 1,250         | 90.0       | 25.2         | 283           | 0.5                          | 140                           | 0.5                          | 140                           |
| ヤシャブシ     | 770           | 60.0       | 42.0         | 194           | 0.9                          | 170                           | 0.9                          | 170                           |

※植物名の略号 K31F:ケンタッキー31フェスク KBG:ケンタッキーブルーグラス  
CRF:クリーピングレッドフェスク

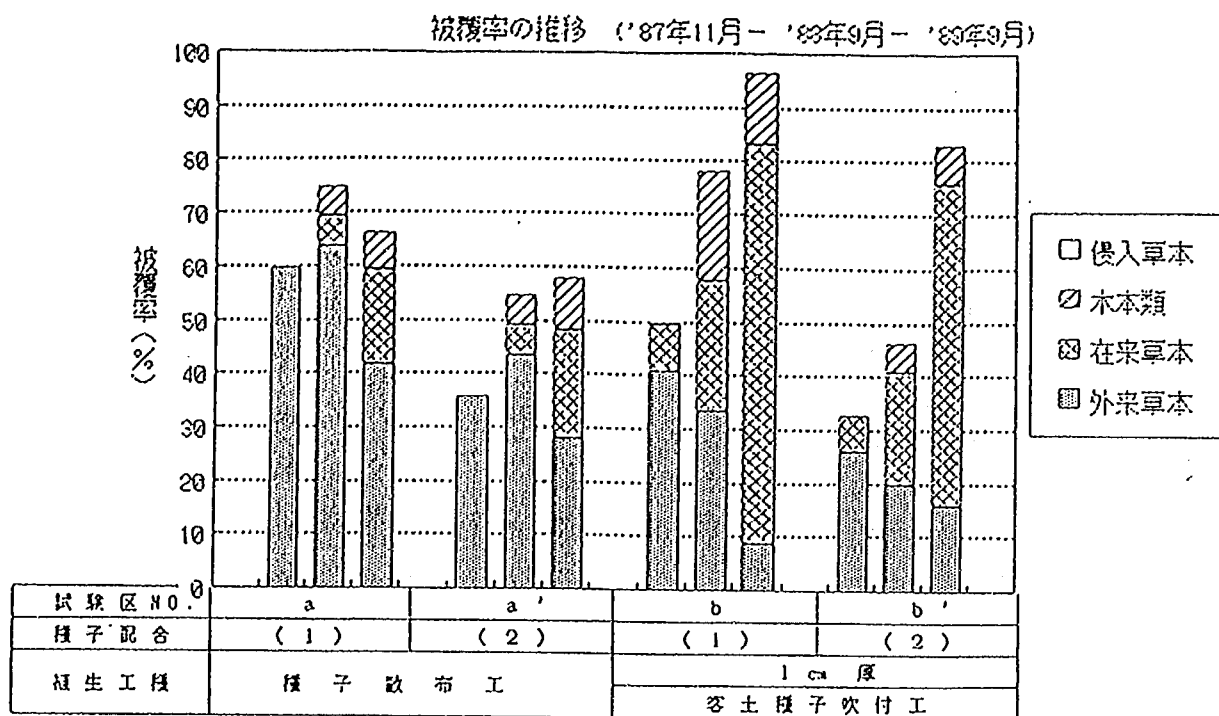


図-2・1・17 被覆率の推移

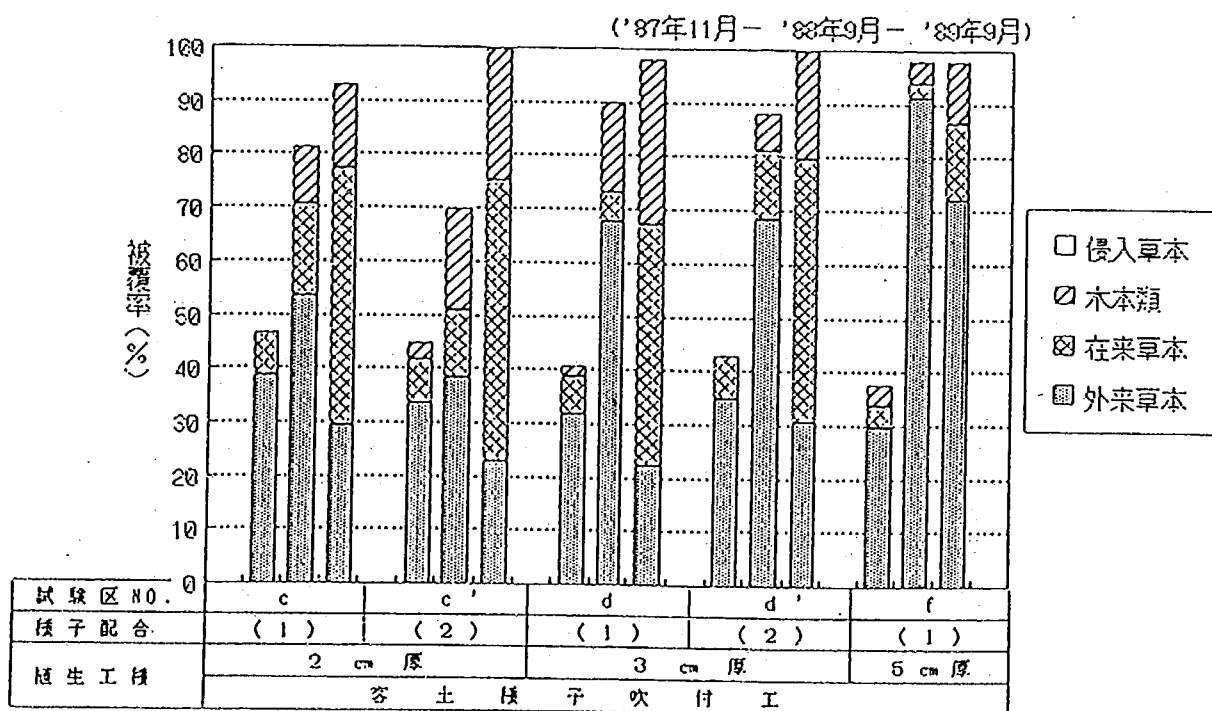


図-2・1・18 被覆率の推移

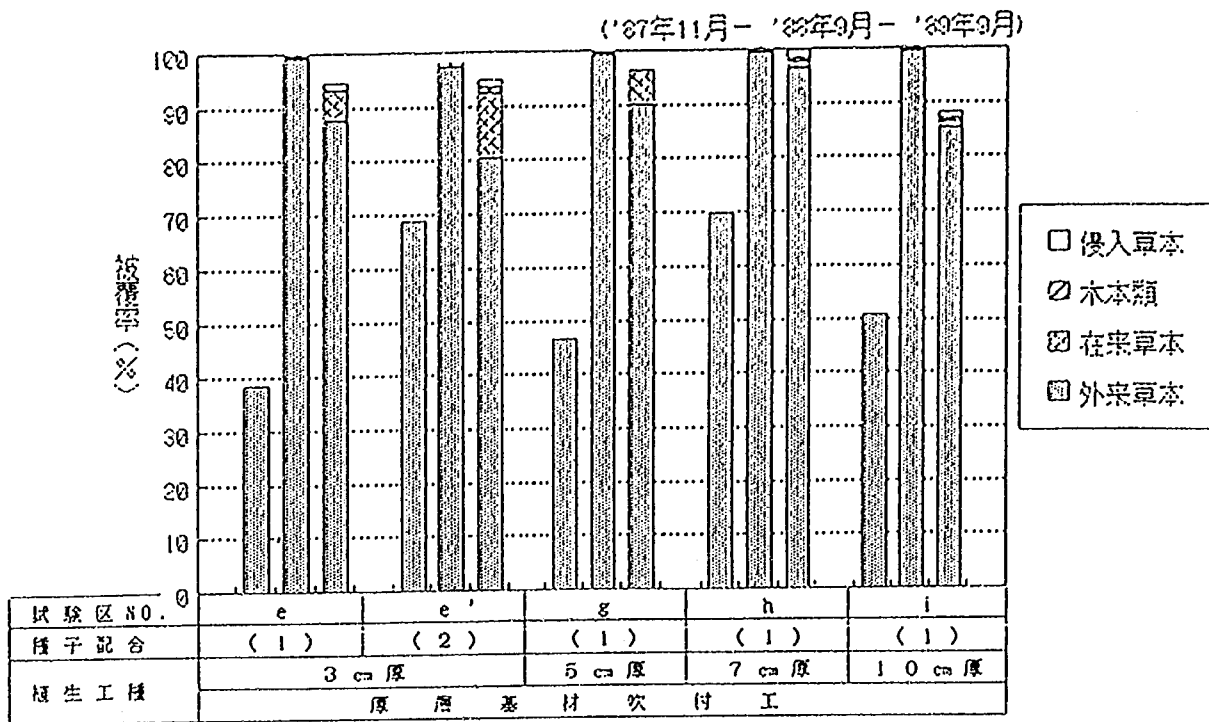


図-2・1・19 被覆率の推移

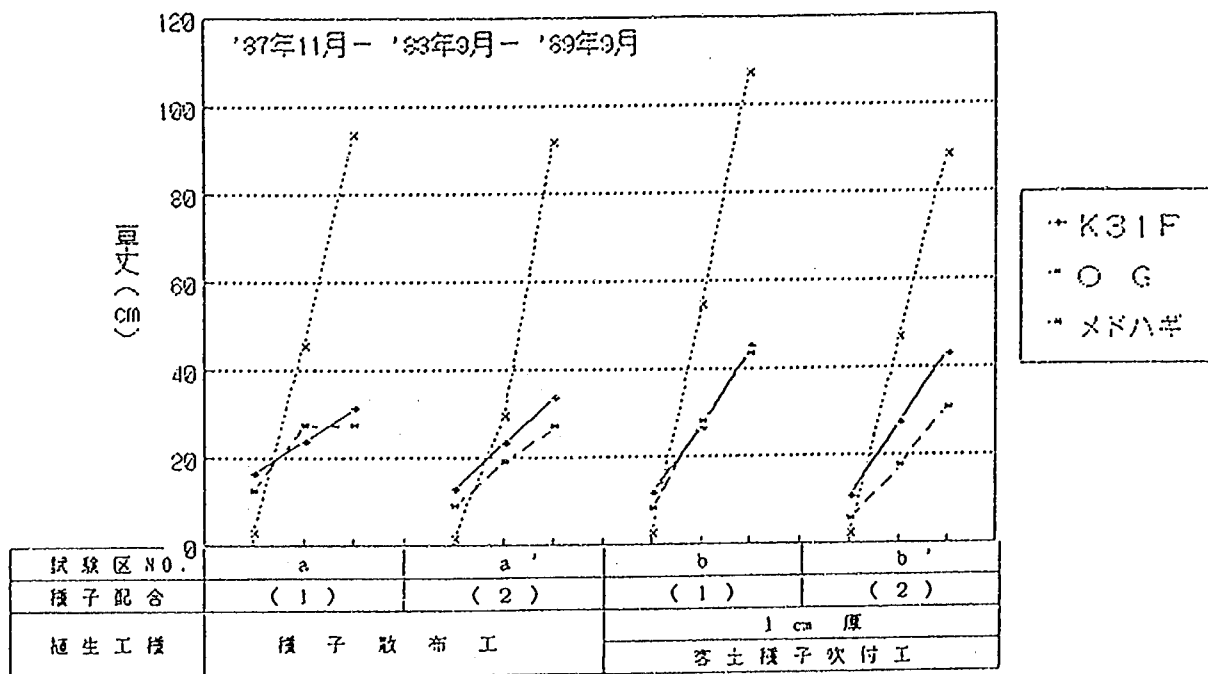


図-2・1・20 草丈の推移

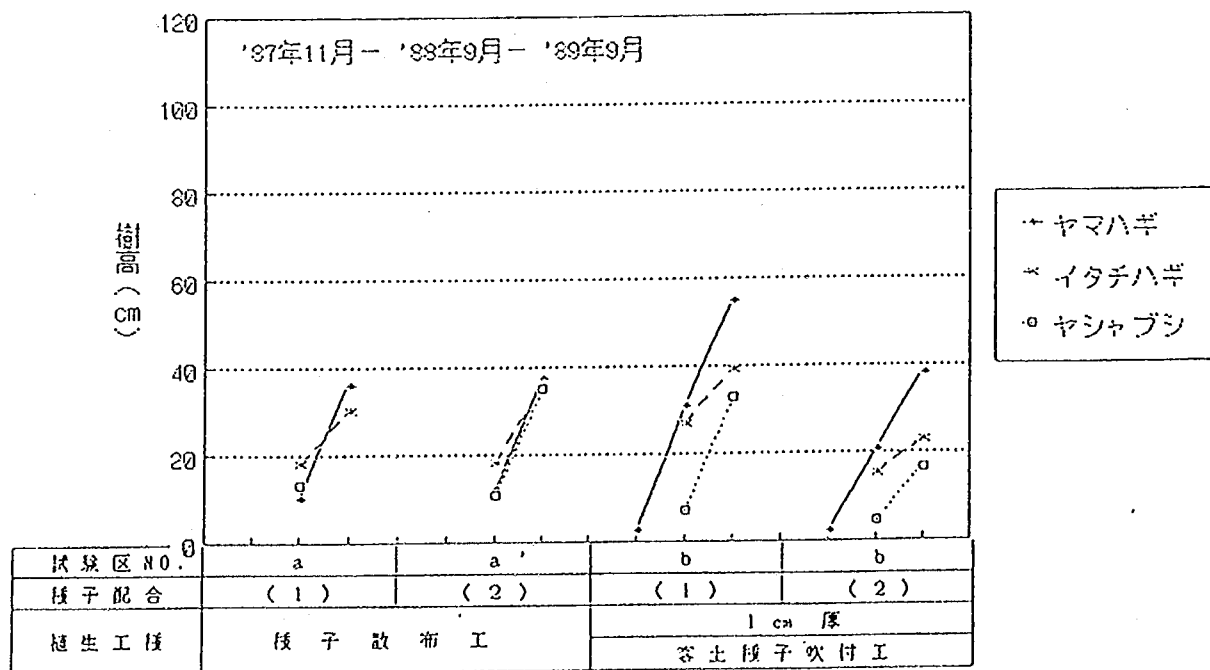


図-2・1・21 樹高の推移

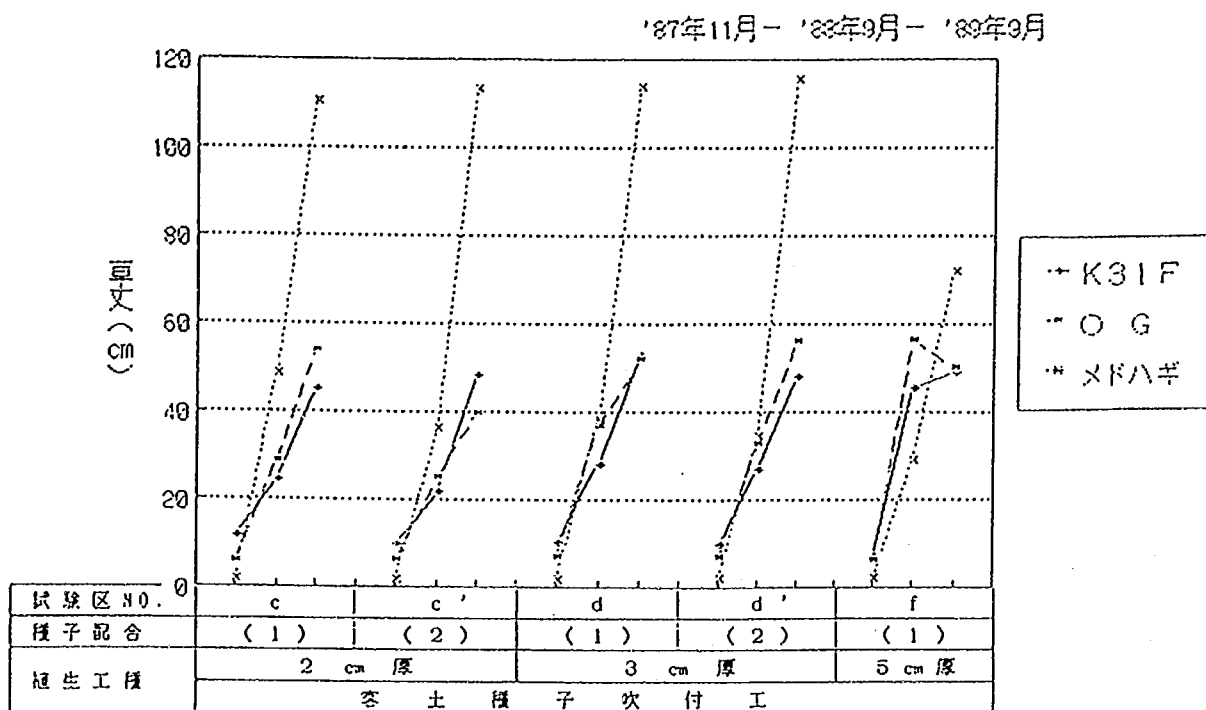


図-2・1・22 草丈の推移

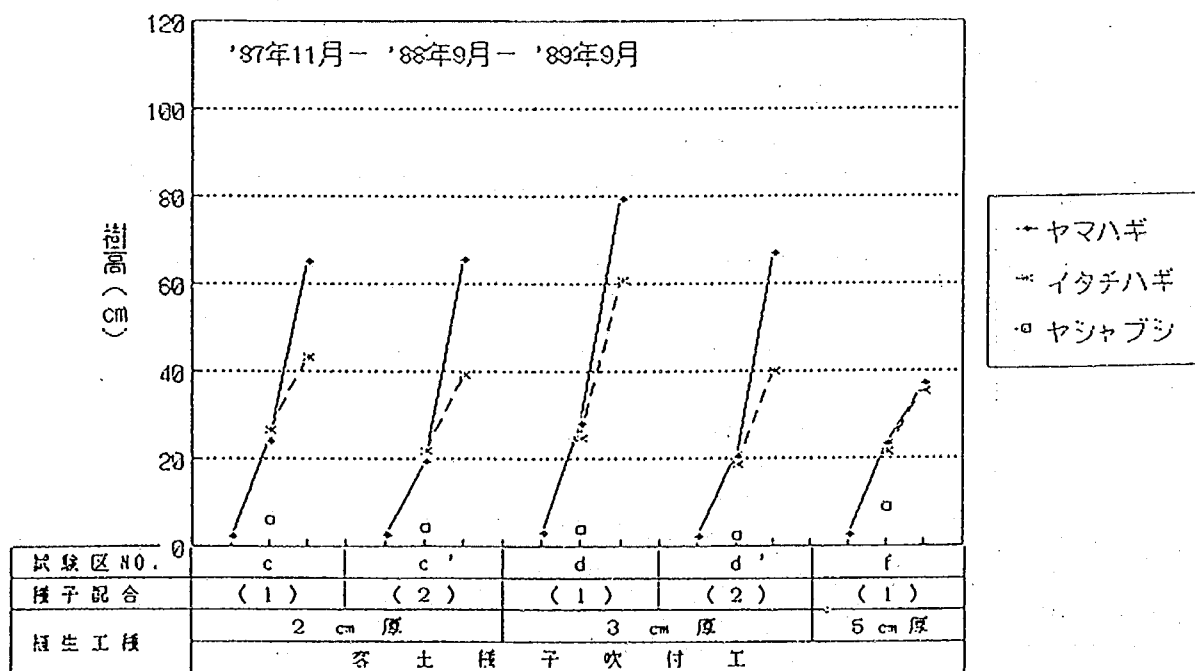


図-2・1・23 樹高の推移

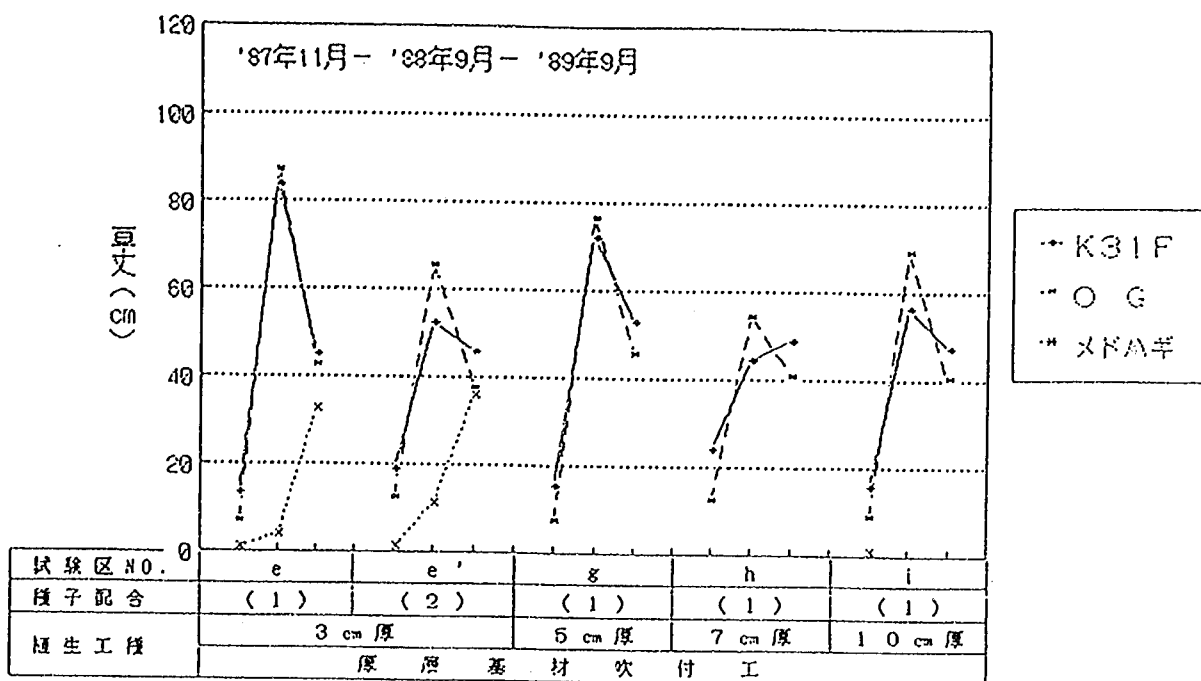


図-2・1・24 草丈の推移

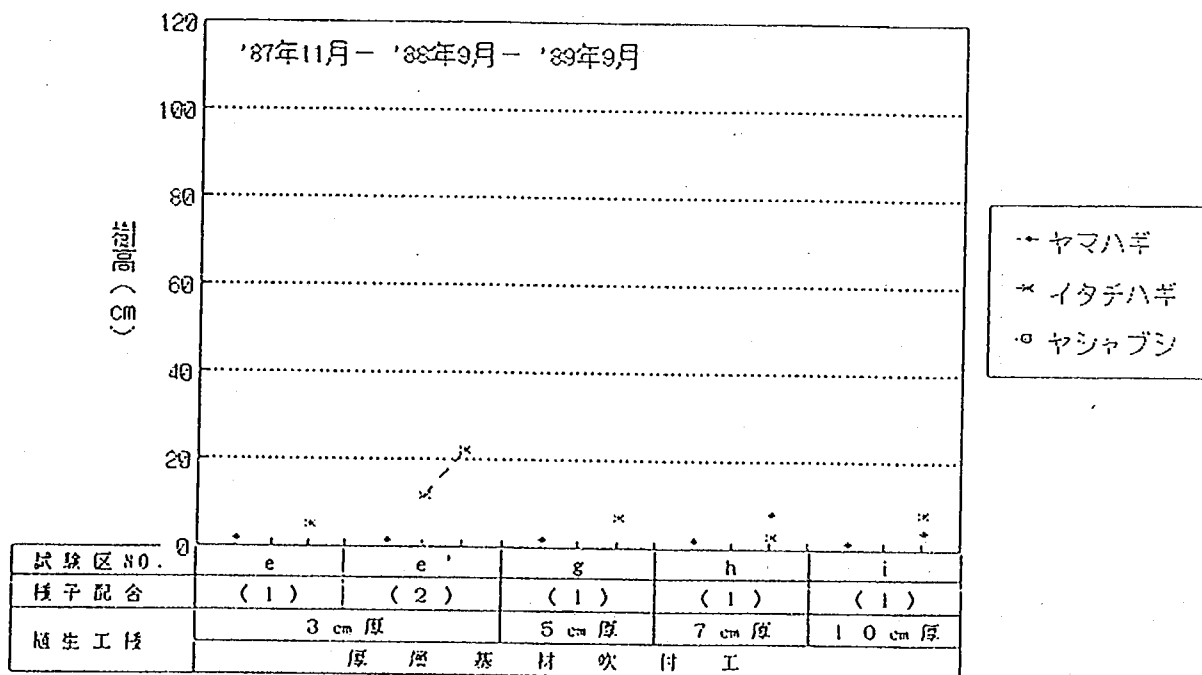


図-2・1・25 樹高の推移

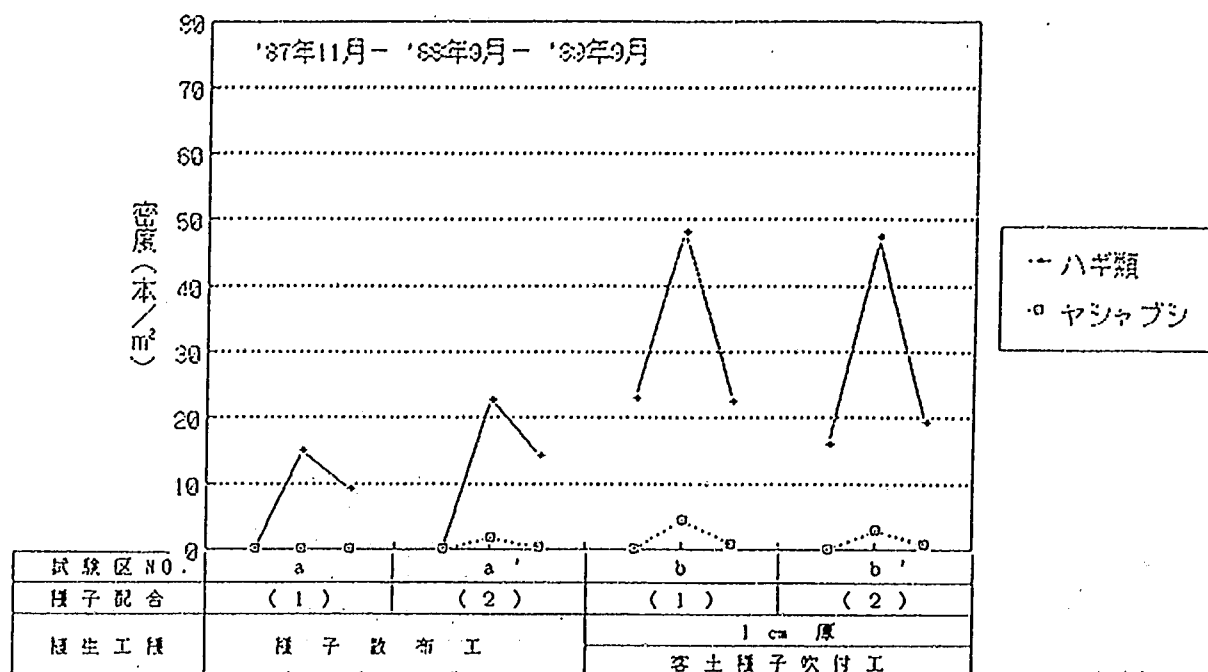


図-2・1・26 木本密度の推移

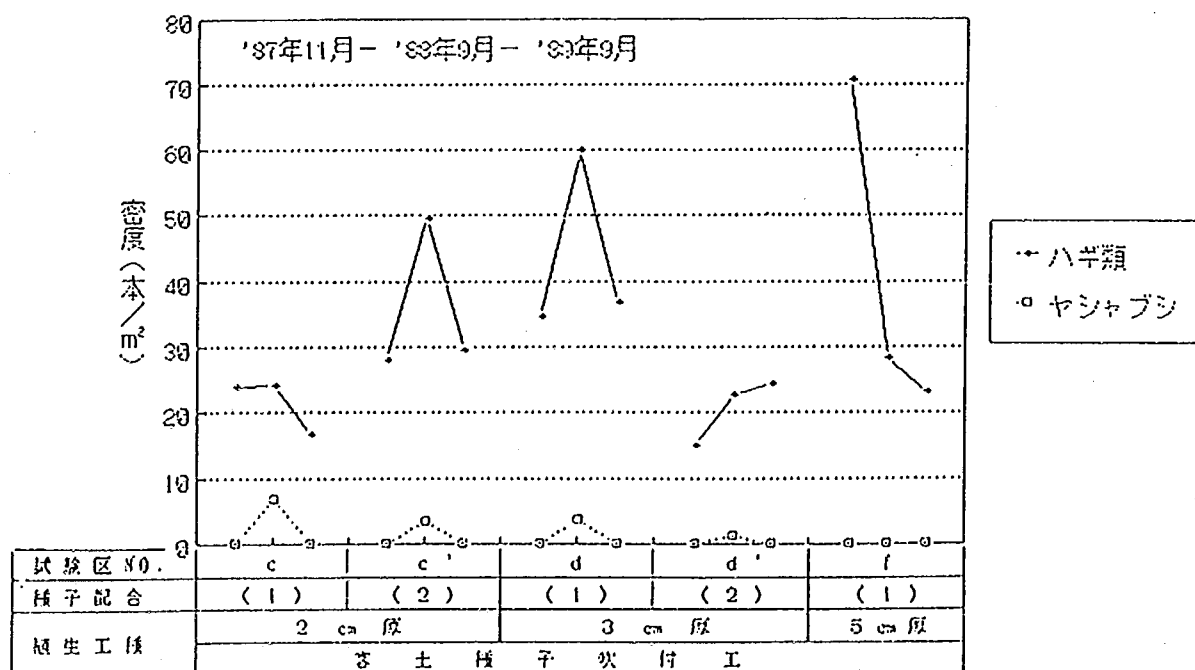


図-2・1・27 木本密度の推移

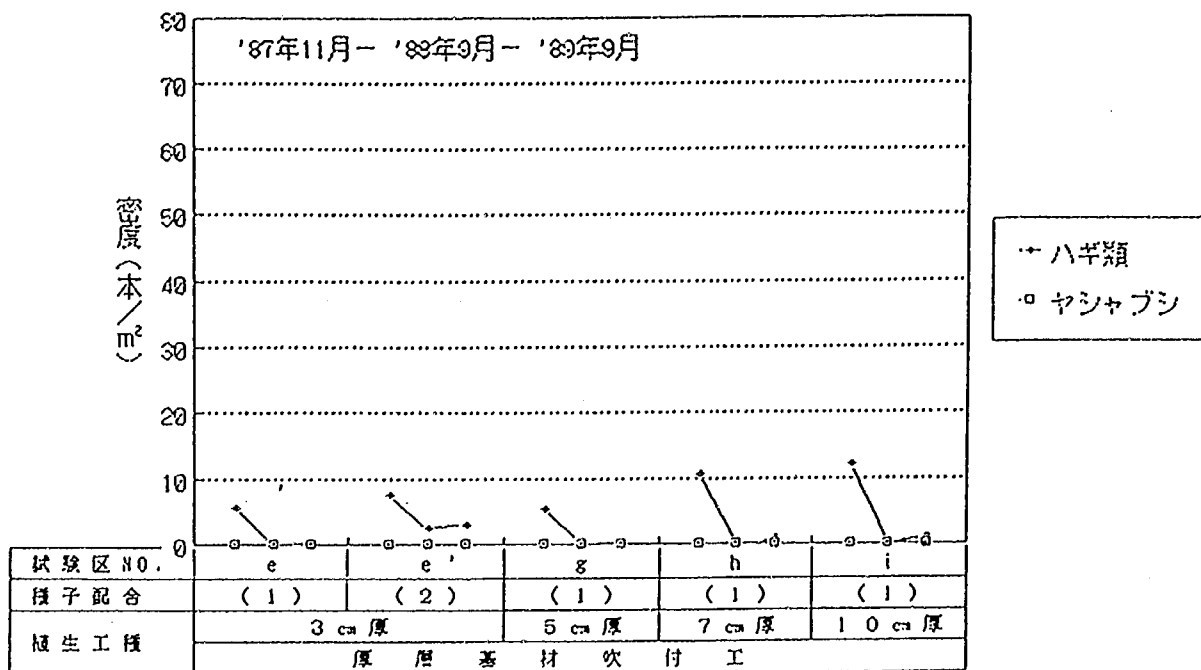


図-2・1・28 木本密度の推移

### 2. 1. 3 倉吉工事

当試験地は国立公園内に位置するため、緑化用植物には制限を受け導入植物に外来草本を使用していない。このため、施工当初の植生被覆が低いなど他の試験地とやや異なる植生推移を示している。また当地区では厚さ25cm厚の客土工や苗木植栽工、周囲からの植物の侵入だけを期待する無播種施工等の従来あまり行われていなかった緑化工法が試験されている。

施工は'87年7月に行なわれ、調査は同年11月、翌年9月('88年)、2年後の10月('89年)に行なわれている。植生推移の状況を図-2・1・31~図-2・1・44に示す。

植生工種別の植生推移の状況は次のようであった。

#### 1) 種子散布工、客土種子吹付工2cm厚(法面)

外来草本を播種していないため、施工当年の植生被覆は低く、一部にはシートエロージョンも見られた。しかし、施工翌年にかけての浸食の拡大はなく、施工翌年にはメドハギやヨモギが成長して植生被覆が増大し、施工2年後になるとイタチハギ、ヤマハギが樹高1m程度まで大型化して植生の主体となりつつある。

種子散布工と客土種子吹付工の植生の差は、施工2年後ではほとんどなくなっているが、種子散布工ではカバノキ科木本(ヤシャブシ)の生育が多いことが特徴となっている。

#### 2) 客土工、25cm厚、無播種(天端)

施工1年後には、ヌルデ、クマイチゴ、タニウツギ等の木本類、アリノトウグサ、ミヤマクワガタ、ススキ等の草本類の侵入があり、施工2年後はそれらの植物が大型化し、植生被覆も増加傾向にある。しかし、植生被覆率は2年後でもまだ10~30%であり、播種を行った他工区に比較して低い値で推移している。

#### 3) 客土工、25cm厚+種子散布工(天端)

当工種は6工区あるが、図-2・1・29、図-2・1・30に示すように、3種子配合及び土壌活性剤(バーディーオール)の添加の有無によって区分されており、工区によって植生の推移状況も異なっている。

土壌活性剤を施用した10、11、12工区は、施工当年にヨモギが密生した状態であったが、翌年には、ヨモギの下から木本が成長してきて、施工2年後には木本が大型化し、植生の主体となりつつある。これに対し、土壌活性剤を施用していない7、8、9工区は、初年度のヨモギの生育は少く、このために植生被覆率は低かったが、1年後以降は木本の大型化に伴い植生被覆は急速に増大している。特に9工区はカバノキ科木本の成長が著しく、施工2年後には樹高が2m前後に達している。

種子配合別の植生の傾向は、播種量最大(基本×4倍)の9、12工区に特徴的に現れ、9工区ではカバノキ科木本、12工区ではハギ類木本が密生している。両者の樹種の相違は、土壌活性剤の添加の有無、あるいはヨモギの密生によるカバノキ科木本への選択的影響のためであること等が考えられる。

#### 4) 苗木植栽工

タイセンキアラボク、ナナカマド、イタヤカエデ、ブナの4樹種を植栽している。各樹種共に植栽後の成長はみられず、タイセンキアラボク、イタヤカエデでは、枯死木も発生しており、生育は不良である。

表-2・1・5 工種区分 (倉吉)

| 試験区No | 緑化基礎工 | 植 生 工              | 種子配合 |
|-------|-------|--------------------|------|
| Na 1  | 金網張工  | 種子散布工              | (2)  |
| Na 2  | 金網張工  | 客土種子吹付工 2cm厚       | (2)  |
| Na 3  | 金網張工  | 厚層基材吹付工 5cm厚       | (2)  |
| Na 4  | 金網張工  | 客土種子吹付工+土壤活性剤      | (2)  |
| Na 5  | 金網張工  | 客土種子吹付工+土壤改良剤      | (2)  |
| Na 6  | →     | 客土工(2)             | 無播種  |
| Na 7  | →     | 客土工(2)             | 無播種  |
| Na 8  | →     | 客土工(1)+種子散布工       | (1)  |
| Na 9  | →     | 客土工(1)+種子散布工       | (3)  |
| Na10  | →     | 客土工(1)+種子散布工       | (4)  |
| Na11  | →     | 客土工(1)+種子散布工+土壤活性剤 | (1)  |
| Na12  | →     | 客土工(1)+種子散布工+土壤活性剤 | (3)  |
| Na13  | →     | 客土工(1)+種子散布工+土壤活性剤 | (4)  |
| Na14  | →     | 苗木植栽工              | →    |

※Na 1～Na 5：法面 Na 6～Na14：天端

表 - 2 ・ 1 ・ 6 種子配合表 (倉吉)

| 植 物 名     | 平均粒数<br>(粒/g) | 純 度<br>(%) | 発 芽 率<br>(%) | 有効粒数<br>(粒/g) | 種子配合 (1)                     |                               | 種子配合 (2)                     |                               | 種子配合 (3)                     |                               | 種子配合 (4)                     |                               |
|-----------|---------------|------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|           |               |            |              |               | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) |
| ヨ モ ギ     | 4,000         | 80.0       | 80.6         | 2,579         | 0.4                          | 1,031                         | 0.8                          | 2,060                         | 0.8                          | 2,060                         | 1.7                          | 4,380                         |
| ス ス キ     | 1,500         | 80.0       | 44.0         | 528           | 0.7                          | 370                           | 1.3                          | 690                           | 1.3                          | 690                           | 2.6                          | 1,370                         |
| メ ド ハ ギ   | 650           | 97.0       | 96.6         | 609           | 0.6                          | 370                           | 1.1                          | 670                           | 1.1                          | 670                           | 2.2                          | 1,340                         |
| イ タ チ ハ ギ | 90            | 95.0       | 67.0         | 57            | 1.8                          | 100                           | 3.6                          | 210                           | 3.6                          | 210                           | 7.1                          | 400                           |
| ヤ マ ハ ギ   | 150           | 95.0       | 71.3         | 101           | 1.1                          | 110                           | 2.1                          | 210                           | 2.1                          | 210                           | 4.2                          | 420                           |
| ヤマハンノキ    | 1,250         | 80.0       | 52.6         | 526           | 0.3                          | 160                           | 0.5                          | 260                           | 0.5                          | 260                           | 1.1                          | 580                           |
| ヤシャブシ     | 770           | 90.0       | 62.3         | 432           | 0.4                          | 170                           | 0.9                          | 390                           | 0.9                          | 390                           | 1.7                          | 730                           |
| ミ ズ ナ ラ   | 0.5           | 95.0       | 41.3         | 0.2           | --                           | --                            | 4.8                          | 1                             | --                           | --                            | --                           | --                            |
| コ ナ ラ     | 0.8           | 95.0       | 44.0         | 0.3           | --                           | --                            | 3.6                          | 1                             | --                           | --                            | --                           | --                            |
| シラカンバ     | 4,220         | 95.0       | 41.3         | 1,656         | --                           | --                            | 4.6                          | 7,620                         | --                           | --                            | --                           | --                            |

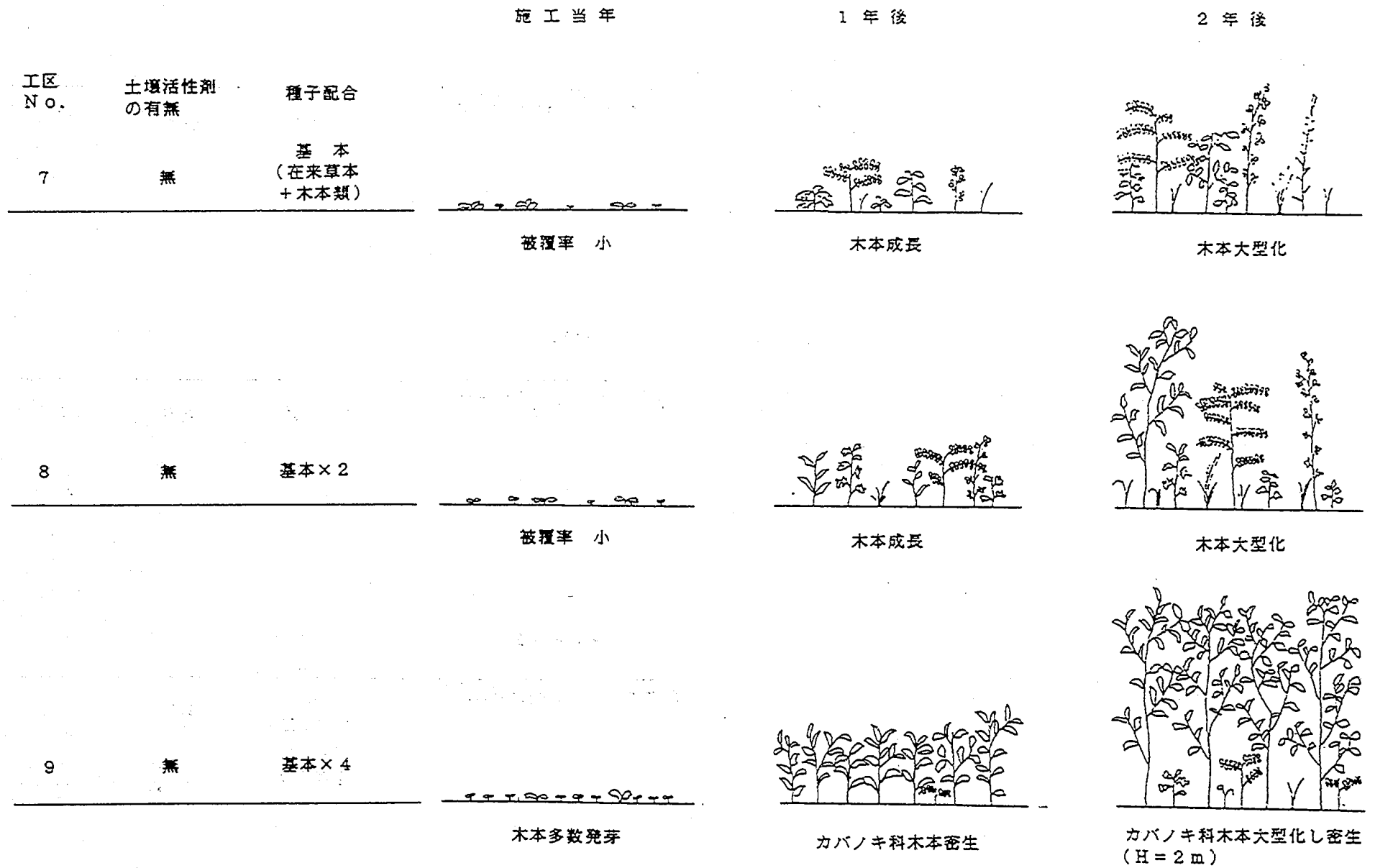


図-2・1・2.9 客土工(25cm厚) + 種子散布工の植生の推移

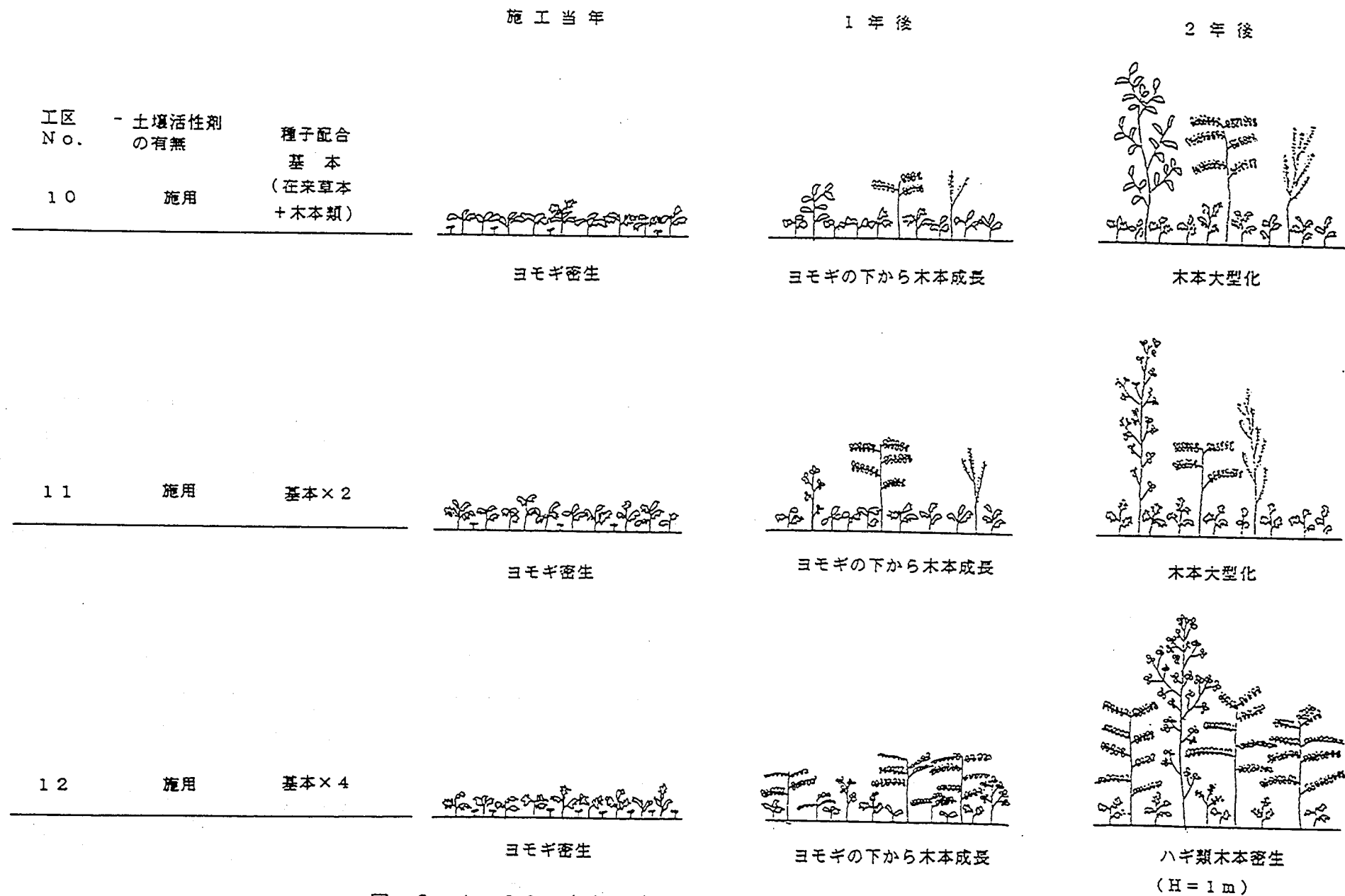


図-2・1・30 客土工(25cm厚)+種子散布工の植生の推移

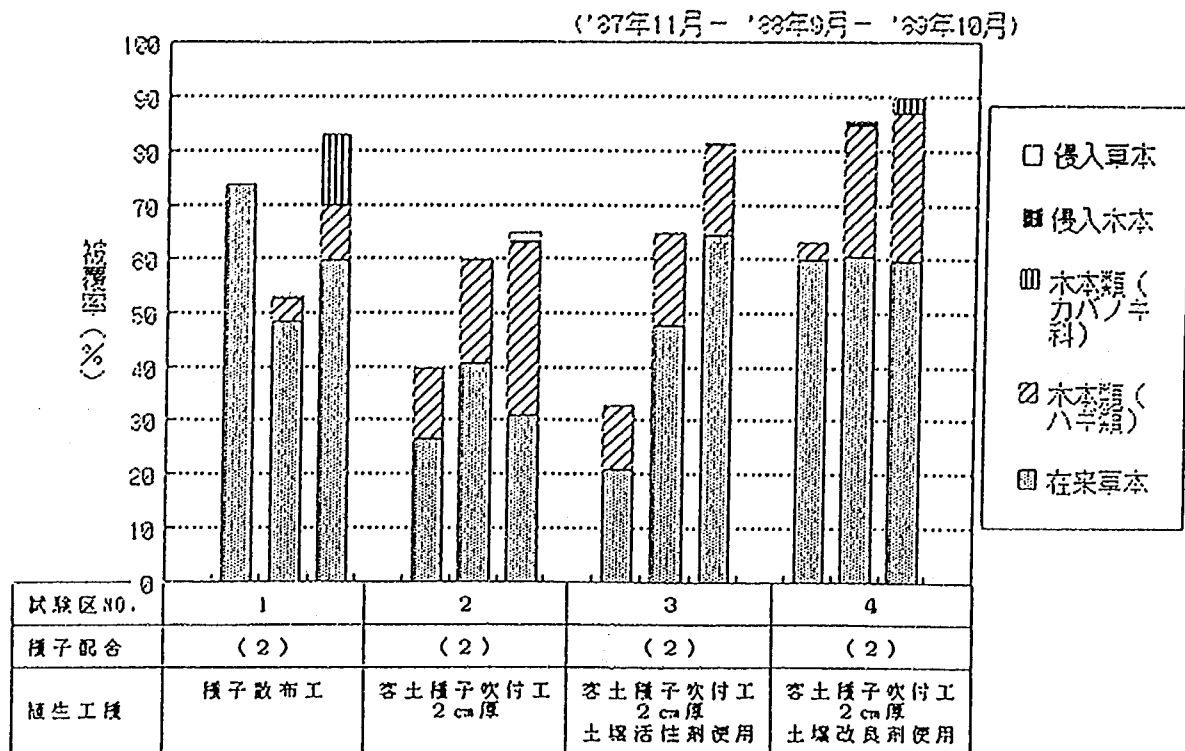


図-2・1・31 被覆率の推移

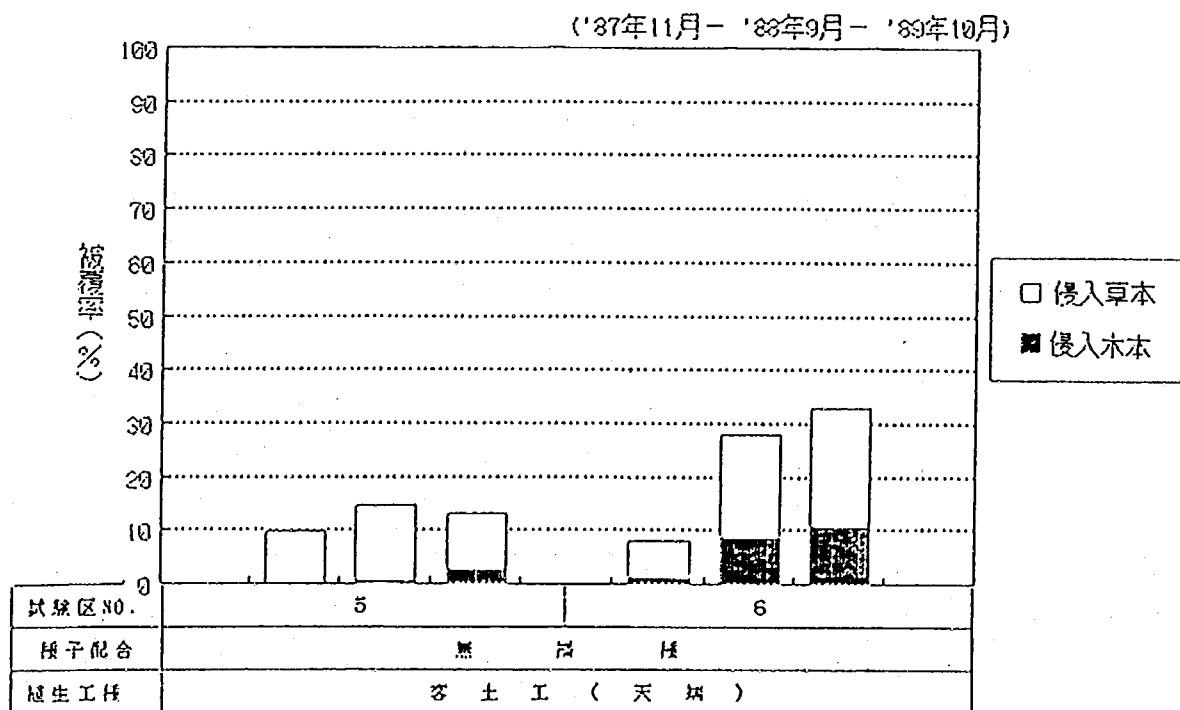


図-2・1・32 被覆率の推移

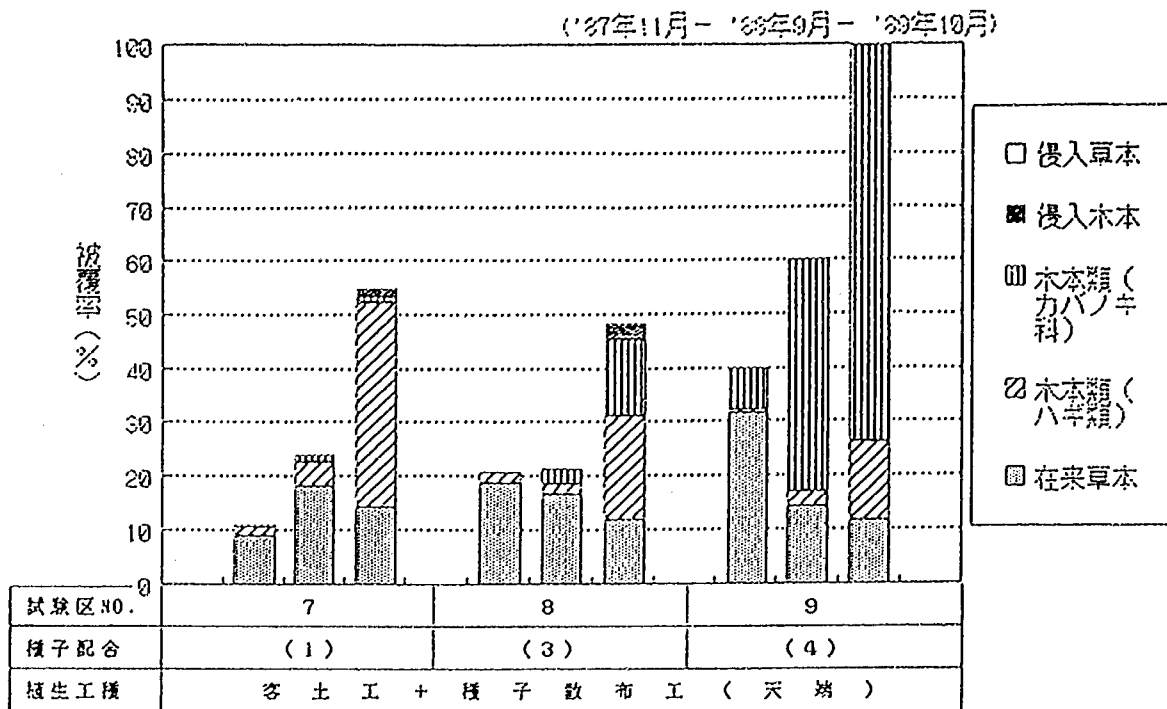


図-2・1・33 被覆率の推移

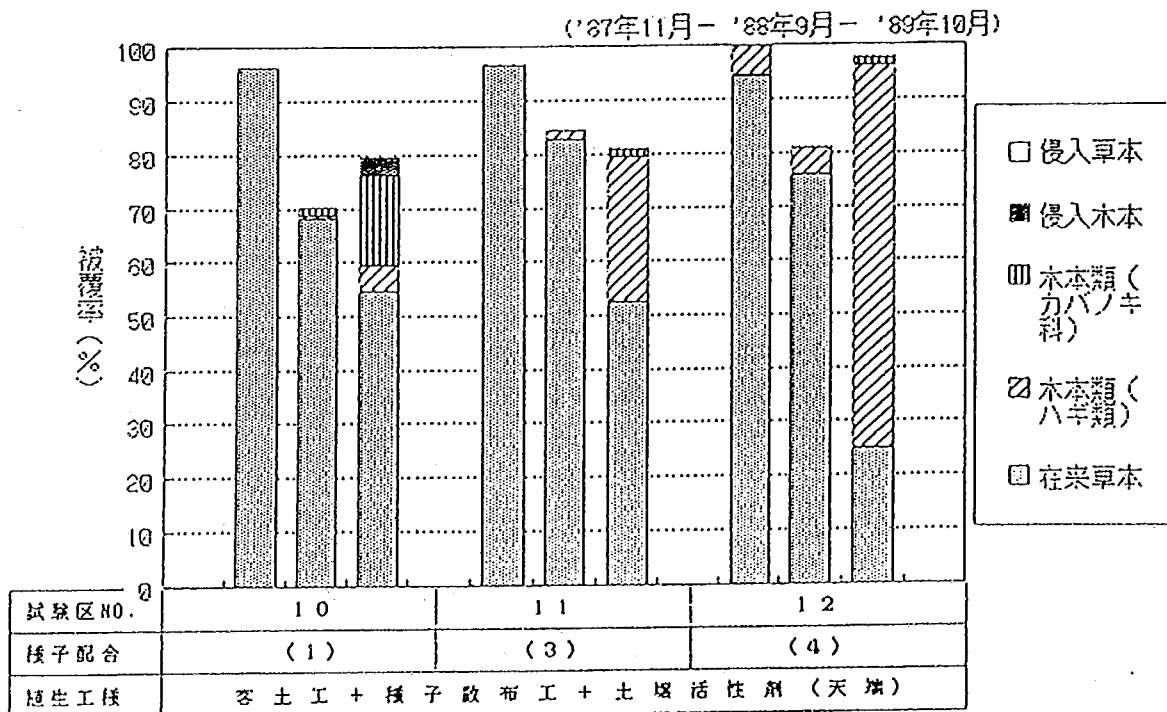


図-2・1・34 被覆率の推移

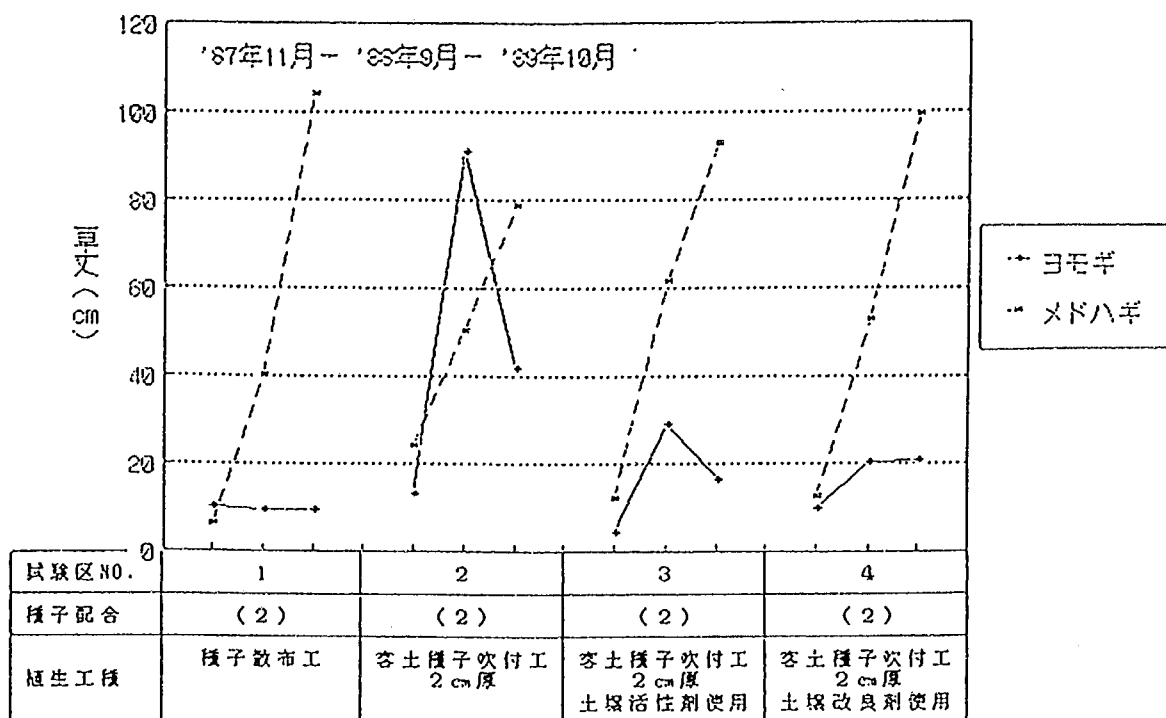


図-2・1・35 草丈の推移

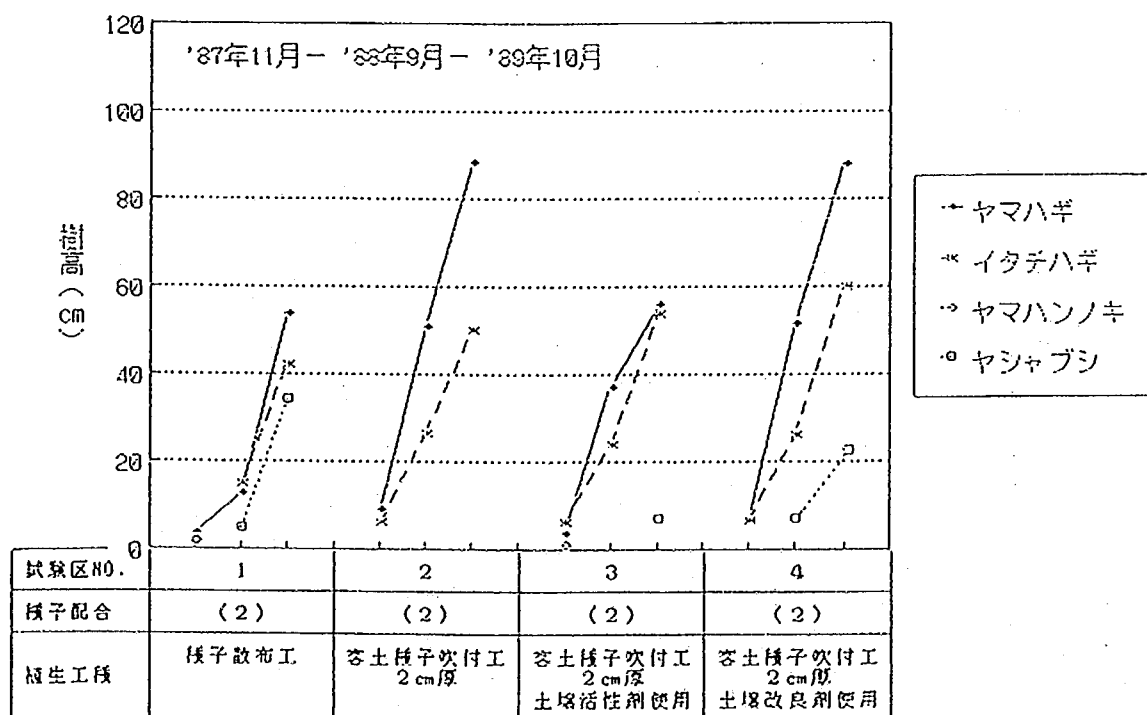


図-2・1・36 樹高の推移

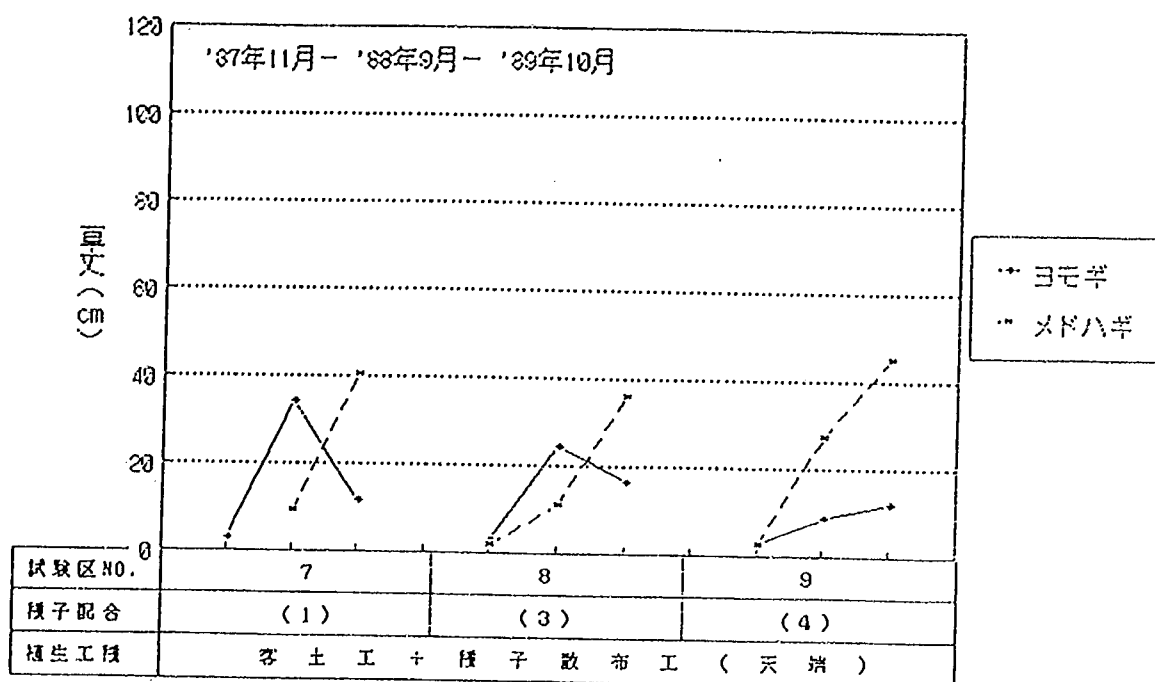


図-2・1・37 草丈の推移

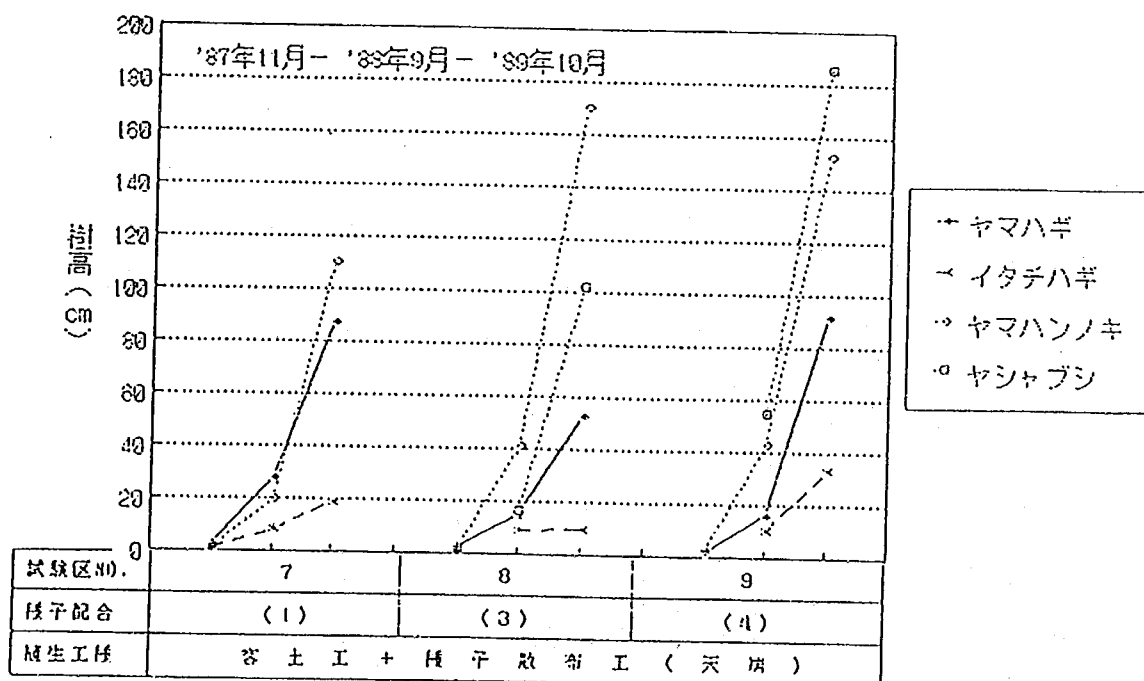


図-2・1・38 樹高の推移

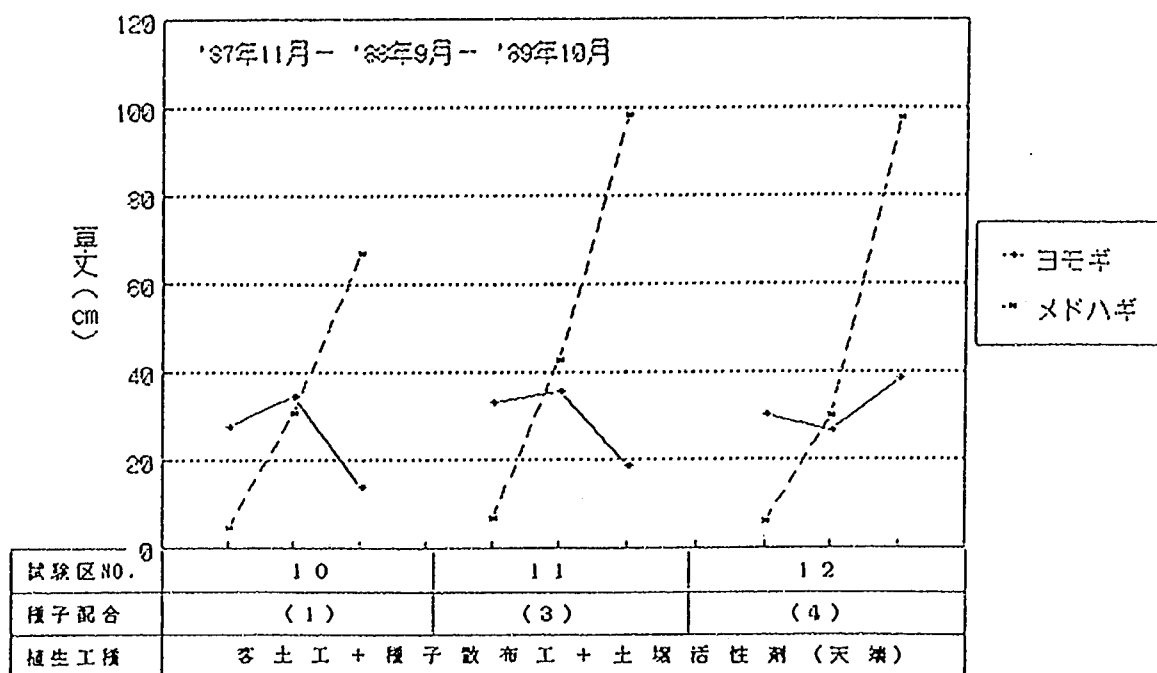


図-2・1・39 草丈の推移

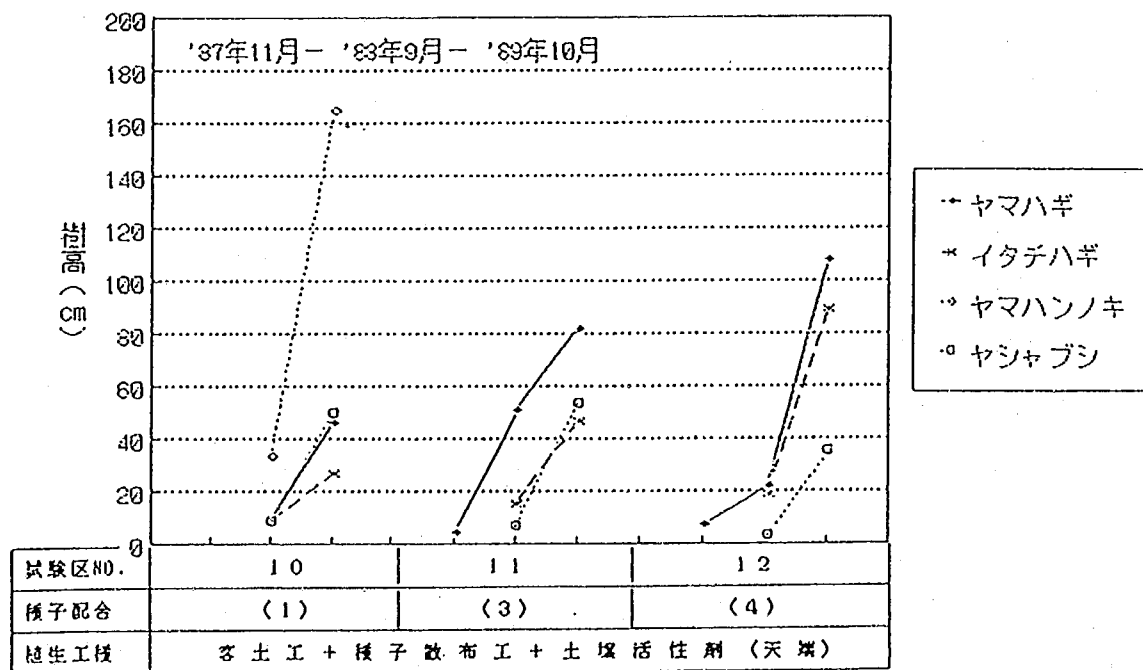


図-2・1・40 樹高の推移

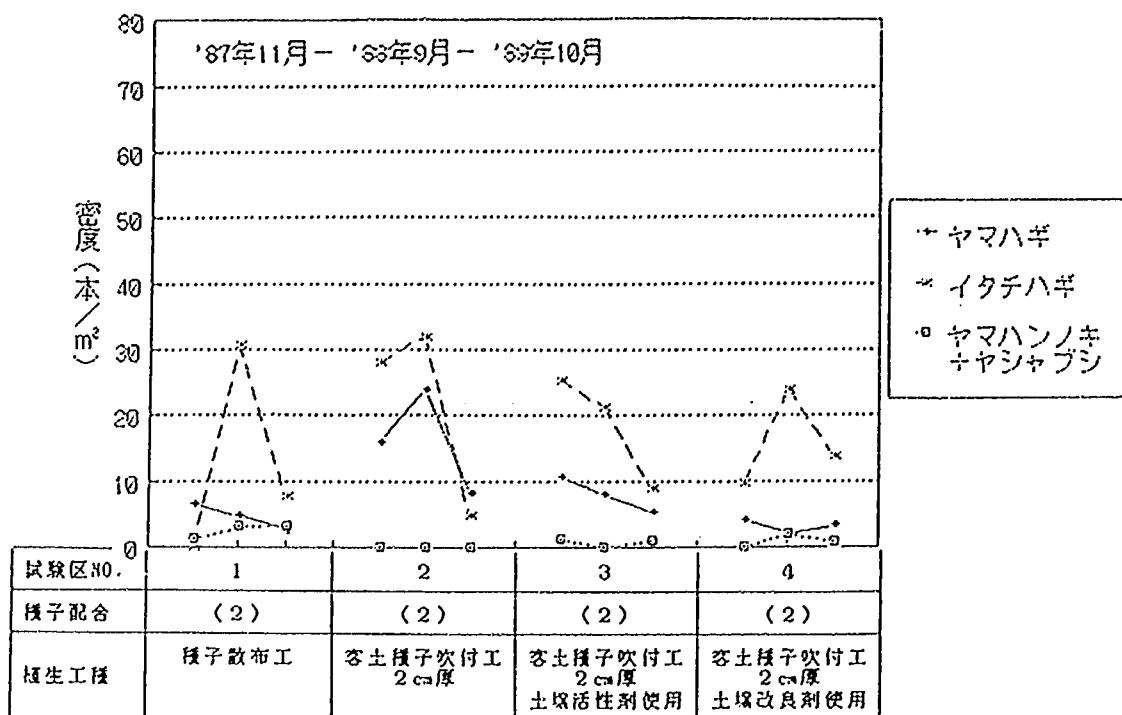


図-2・1・41 木本密度の推移

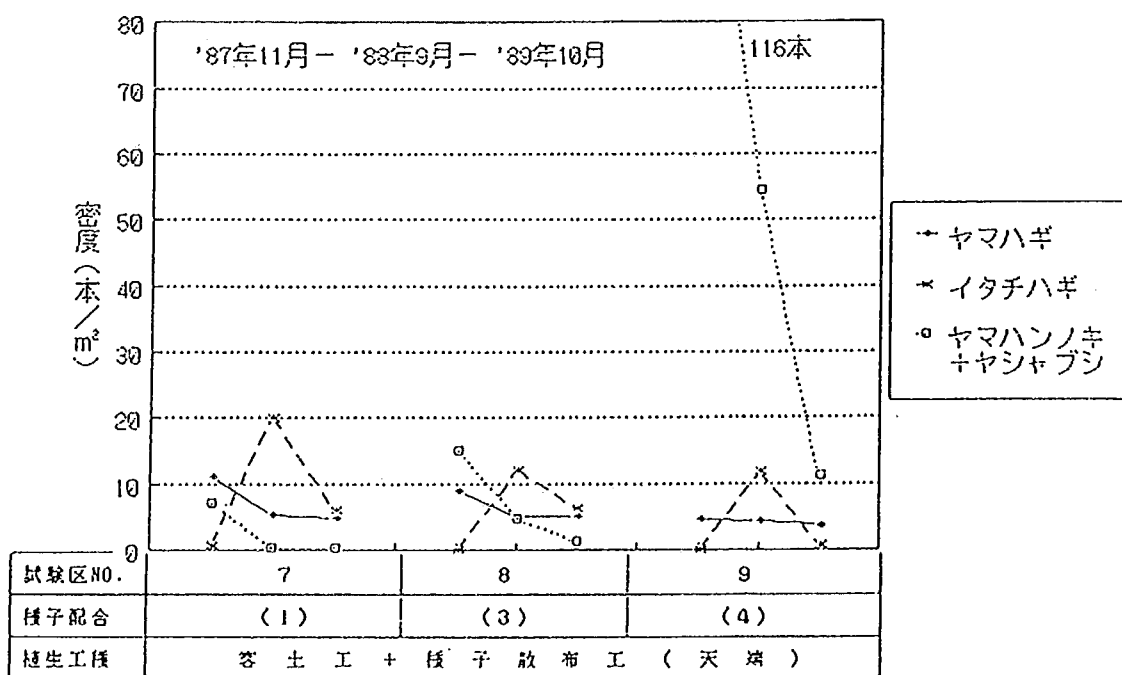


図-2・1・42 木本密度の推移

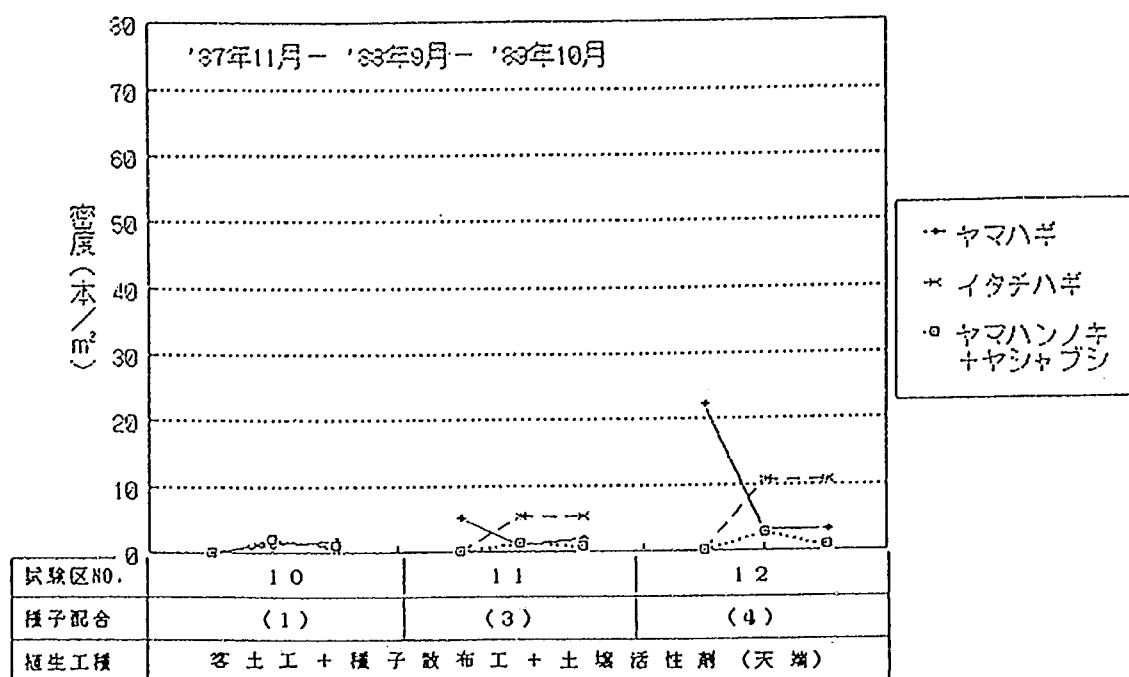


図-2・1・43 木本密度の推移

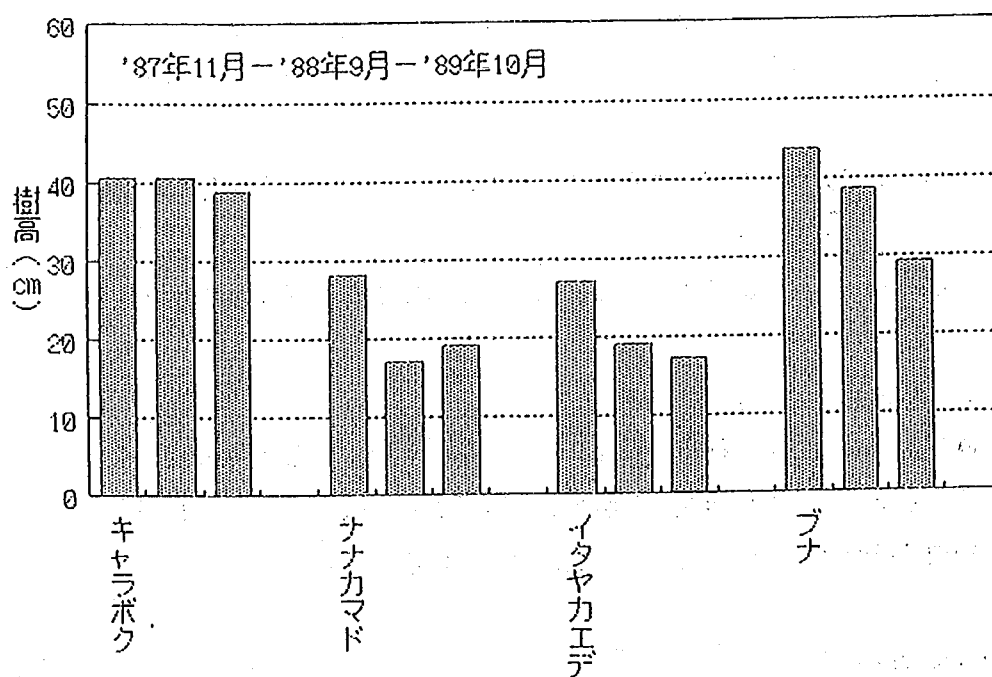


図-2・1・44 植栽樹木の平均樹高の推移 (生育している個体のみ)

## 2. 1. 4 宮崎工事

当試験地は、外来草本だけを導入した3種配合、外来草本+在来草本+ヤマハギを導入した6種配合、外来草本+在来草本+ハギ類、カバノキ科木本を導入した9種配合及び9種外来草本1/2配合に分類され、それぞれの種子配合によって植生状況が異なっている。

施工は'87年6月に行なわれ、調査は同年12月、翌年9月('88年)、2年後の9月('89年)に行なわれている。植生推移の状況を図-2・1・45～図-2・1・52に示す。

植生工種別の植生推移の状況は次のようであった。

### 1) 種子散布工

種子配合により、植生の状況が大きく異なっている。3種、6種配合では施工初年度から外来草本が良好に生育し、施工2年後までは全面的な植生被覆を維持している。これに対し、9種配合及び9種外来草本1/2配合では施工当初は外来草本の被覆は低く推移したが、施工2年後には木本類の大型化に伴い植生被覆が向上している。

また、当試験地の種子散布工では施工2年後までには外来草本の衰退が生じていない。このことは、他の試験地(新庄、渡良瀬川)の種子散布工では外来草本が衰退傾向であったことと対照的である。

通常、種子散布工で導入した外来草本は施工後2～3年で衰退する傾向があるが、これは種子散布工では散布した肥料の肥効は1～2年しか維持せず、肥料要求度の高い外来草本は肥効切れと共に衰退するためである。当試験地の種子散布工で施工2年後でも外来草本の衰退が見られない原因としては次のことが考えられる。

a. 地山が粘性土であり、肥料分を吸着する能力が高く、砂質土や軟岩に比較して肥効が長期間持続している。

b. 法面上部に杉人工林があるが、この林内から雨水によって養分の供給がある。

### 2) 客土種子吹付工 1, 2, 3cm厚

客土種子吹付工においても、種子配合は3種、6種、9種、9種外来草本1/2の各配合で行なわれている。いずれの配合でも草本、木本が混成した植生となっており、施工2年後では6種配合でヤマハギの成立本数がやや少ない他は目標とした植生に近い状況になっていると言える。

### 3) 厚層基材吹付工

厚層基材吹付工は6種配合でのみ行なわれている。

当工種は施工当年秋ですでに外来草本が密生した植生となり、施工2年後までこの状態が継続している。ヤマハギは施工当年では小数の生育が見られたが、翌年にはすべて消滅している。外来草本以外ではヨモギの生育が若干見られるだけであり、メドハギ、ヤマハギは外来草本により被圧されたものと考えられる。

表-2・1・7 工種区分 (宮崎)

| 試験区  | 緑化基礎工     | 植 生 工           | 種子配合      |
|------|-----------|-----------------|-----------|
| 1工区  | ——        | 種子散布工           | 3種        |
| 2工区  | 樹脂ネット張工   | 種子散布工           | 6種        |
| 3工区  | 樹脂ネット張工   | 客土種子吹付工(3 cm 厚) | 6種        |
| 4工区  | 金網張工      | 種子散布工           | 9種        |
| 5工区  | 金網張工      | 種子散布工           | 9種(外来1/2) |
| 6工区  | 肥料袋付ネット張工 | 有機吹付工           | 6種        |
| 7工区  | 樹脂ネット張工   | 客土種子吹付工(1 cm 厚) | 6種        |
| 8工区  | 樹脂ネット張工   | 客土種子吹付工(2 cm 厚) | 3種        |
| 9工区  | 樹脂ネット張工   | 客土種子吹付工(2 cm 厚) | 9種        |
| 10工区 | 樹脂ネット張工   | 客土種子吹付工(2 cm 厚) | 9種(外来1/2) |
| 11工区 | ——        | 芝付工(総芝)         | 1種        |
| 12工区 | 金網張工      | 厚層基材吹付工(5 cm 厚) | 6種        |

表 - 2 - 1 - 8 種子配合表 (宮崎)

| 植物名   | 平均粒数<br>(粒/g) | 純 度<br>(%) | 発芽率<br>(%) | 有効粒数<br>(粒/g) | 3 種 配 合                      |                               | 6 種 配 合                      |                               | 9 種 配 合                      |                               | 9種配合(外来草本1/2)                |                               |
|-------|---------------|------------|------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|       |               |            |            |               | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) |
| K31F  | 450           | 100.0      | 96.0       | 432           | 10.7                         | 4,620                         | 4.1                          | 1,770                         | 2.7                          | 1,170                         | 1.35                         | 580                           |
| CRF   | 1,130         | 100.0      | 85.0       | 960           | 3.4                          | 3,260                         | 1.7                          | 1,630                         | 0.6                          | 580                           | 0.3                          | 290                           |
| KBG   | 3,850         | 99.9       | 92.0       | 3,538         | --                           | --                            | --                           | --                            | 0.3                          | 1,060                         | 0.15                         | 530                           |
| WLG   | 3,000         | 100.0      | 87.0       | 2,610         | 1.1                          | 2,870                         | 0.8                          | 2,090                         | --                           | --                            | --                           | --                            |
| ヨモギ   | 4,000         | 79.1       | 63.0       | 1,993         | --                           | --                            | 0.8                          | 1,590                         | 0.8                          | 1,590                         | 0.8                          | 1,590                         |
| ススキ   | 1,500         | 85.0       | 60.0       | 765           | --                           | --                            | --                           | --                            | 1.3                          | 990                           | 1.3                          | 990                           |
| メドハギ  | 650           | 100.0      | 87.0       | 565           | --                           | --                            | 6.1                          | 3,450                         | 1.1                          | 620                           | 1.1                          | 620                           |
| ヤマハギ  | 150           | 80.0       | 60.0       | 72            | --                           | --                            | 9.9                          | 710                           | 4.2                          | 300                           | 4.2                          | 300                           |
| イタチハギ | 90            | 80.0       | 65.0       | 46            | --                           | --                            | --                           | --                            | 7.1                          | 330                           | 7.1                          | 330                           |
| ヤシャブシ | 770           | 60.0       | 50.0       | 231           | --                           | --                            | --                           | --                            | 0.9                          | 210                           | 0.9                          | 210                           |

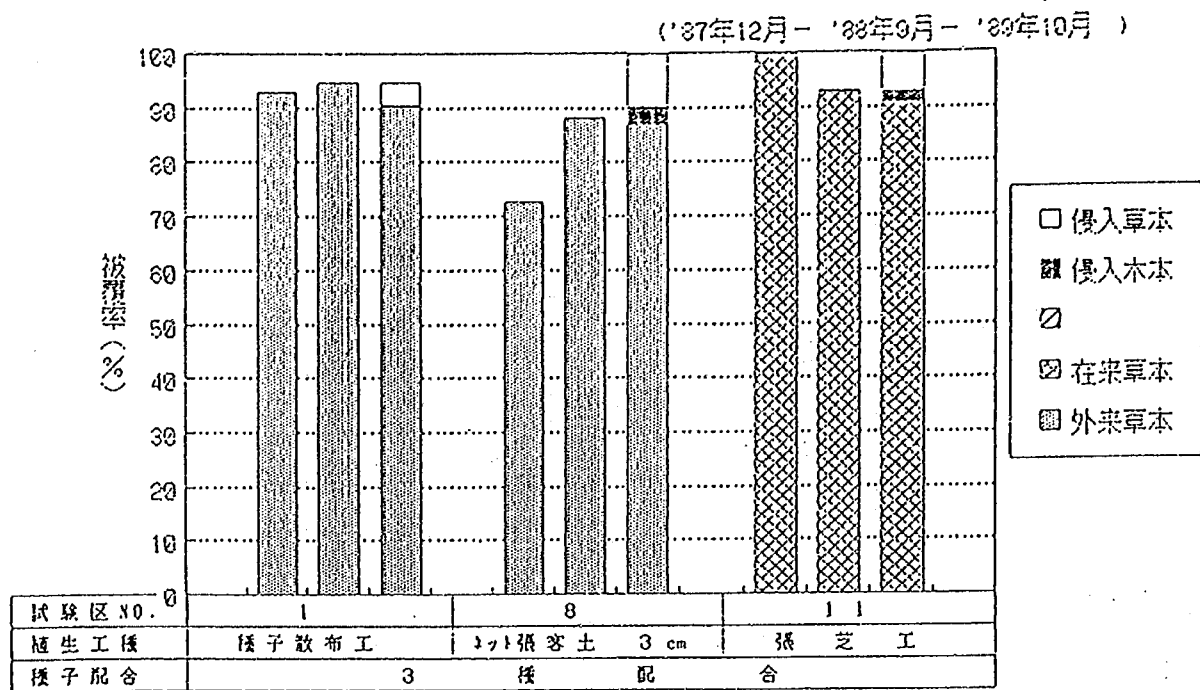


図-2・1・45 被覆率の推移

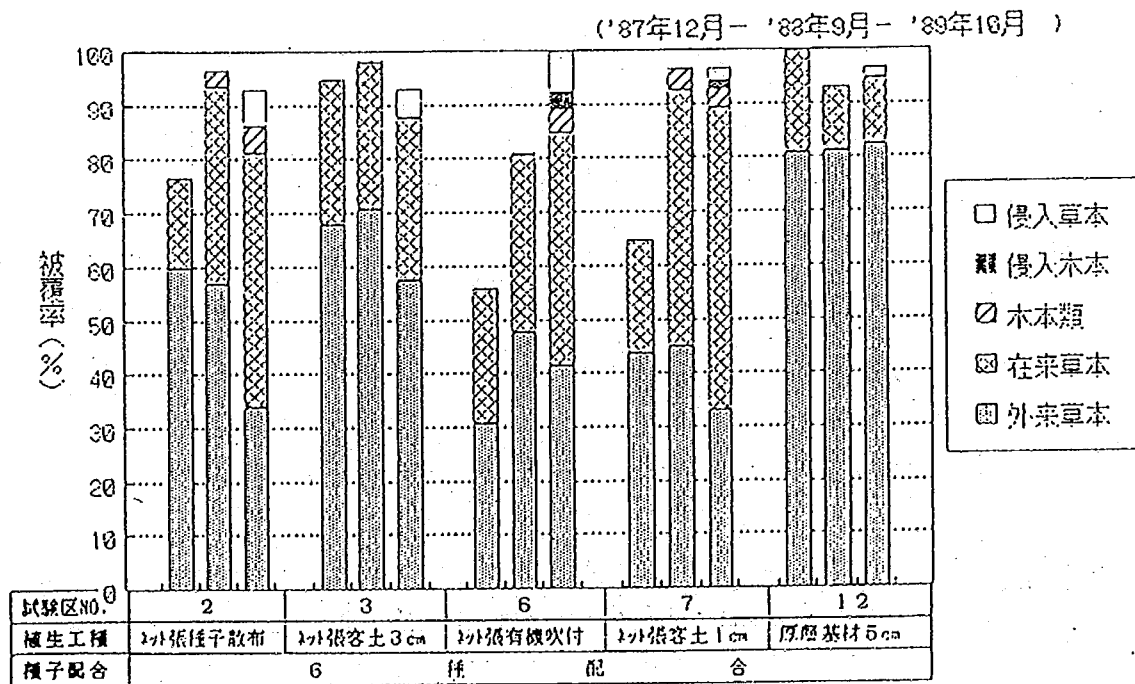


図-2・1・46 被覆率の推移

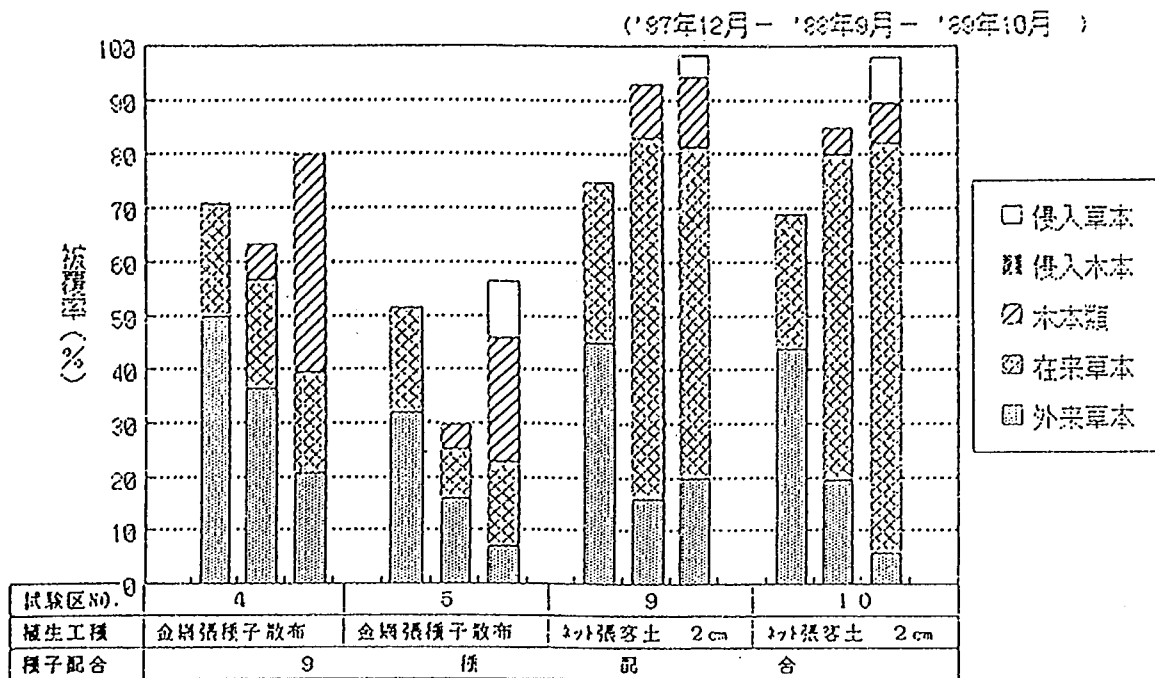


図-2・1・47 被覆率の推移

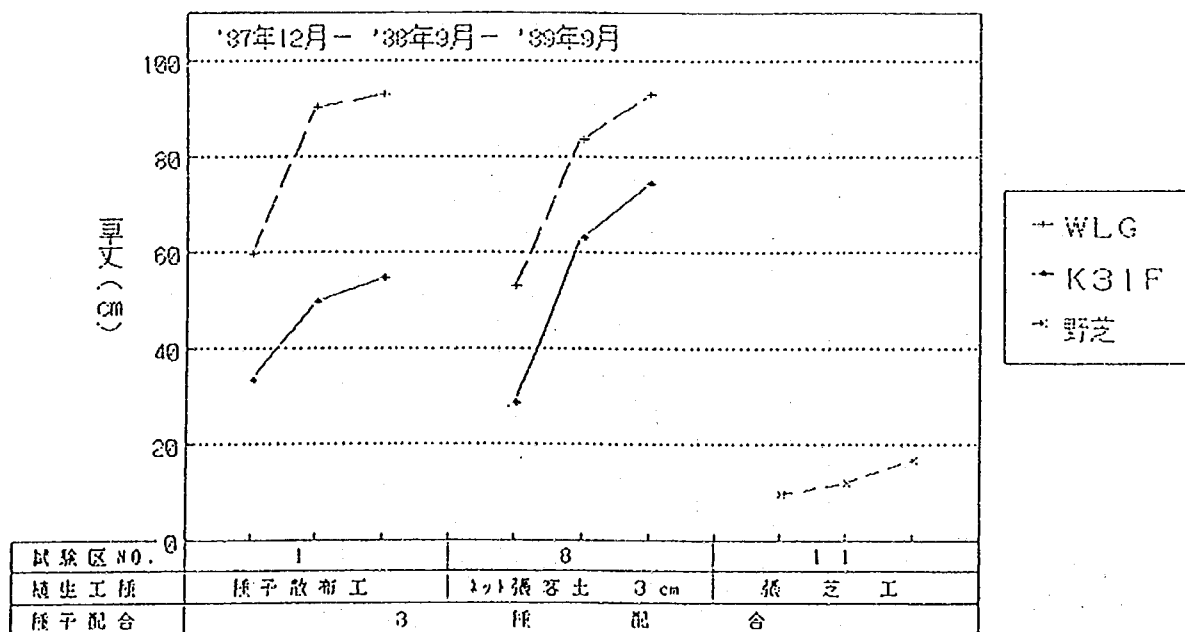


図-2・1・48 草丈の推移

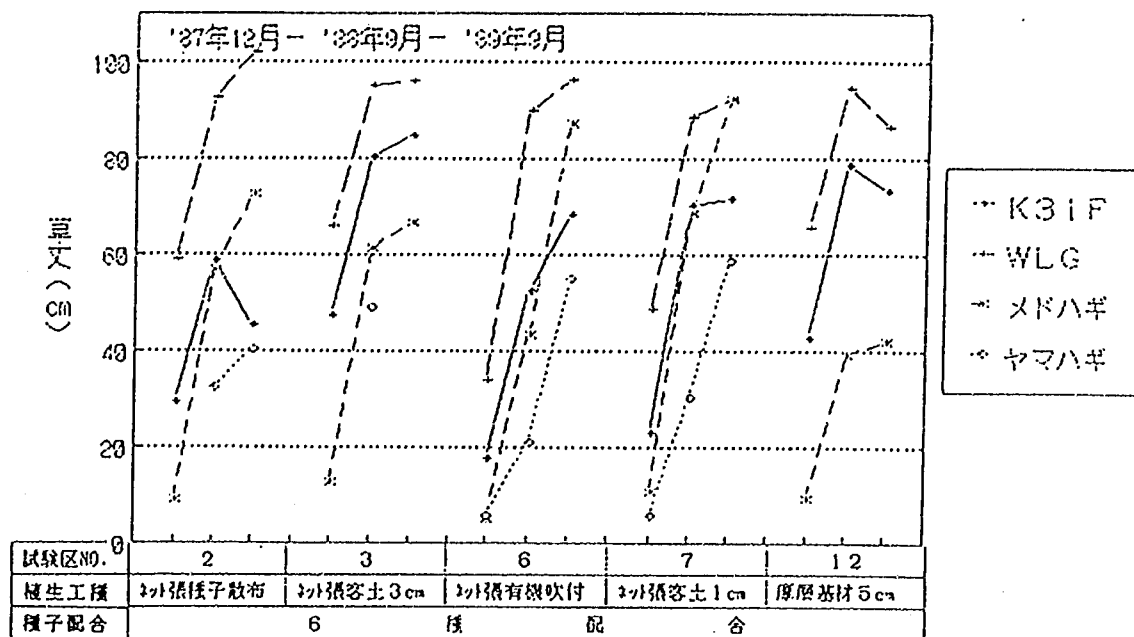


図-2・1・49 草丈・樹高の推移

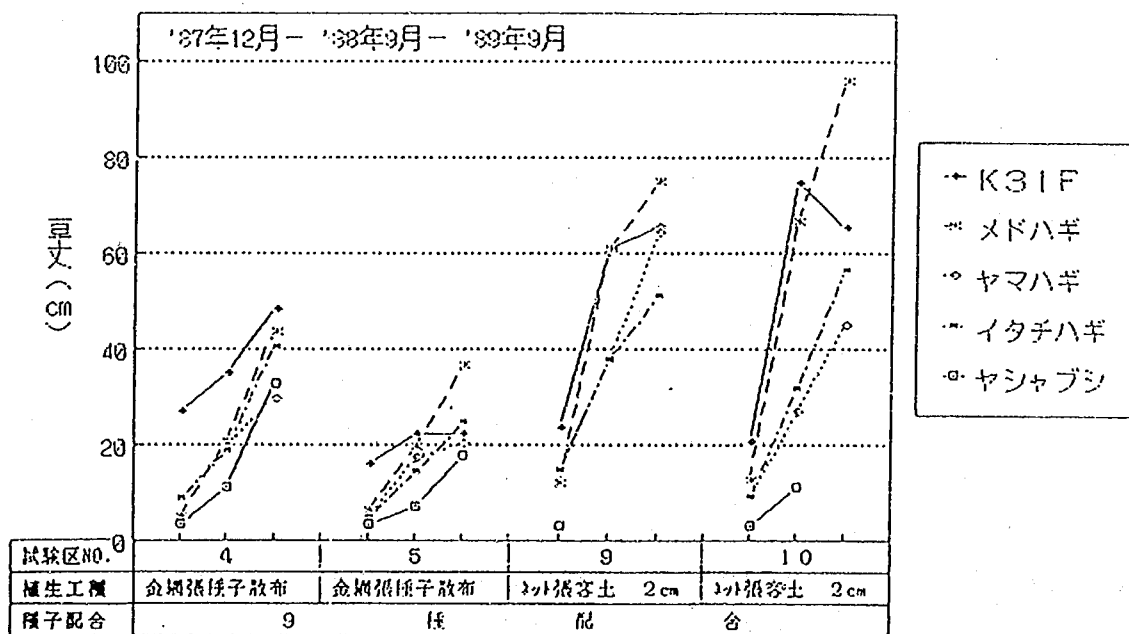


図-2・1・50 草丈・樹高の推移

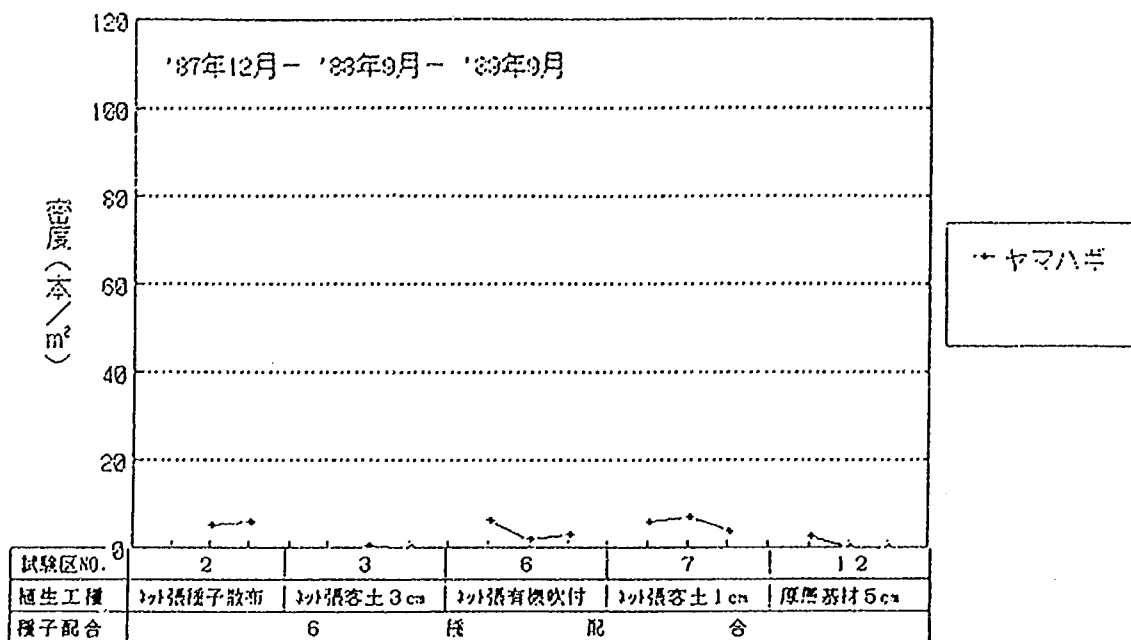


図-2・1・51 木本密度の推移

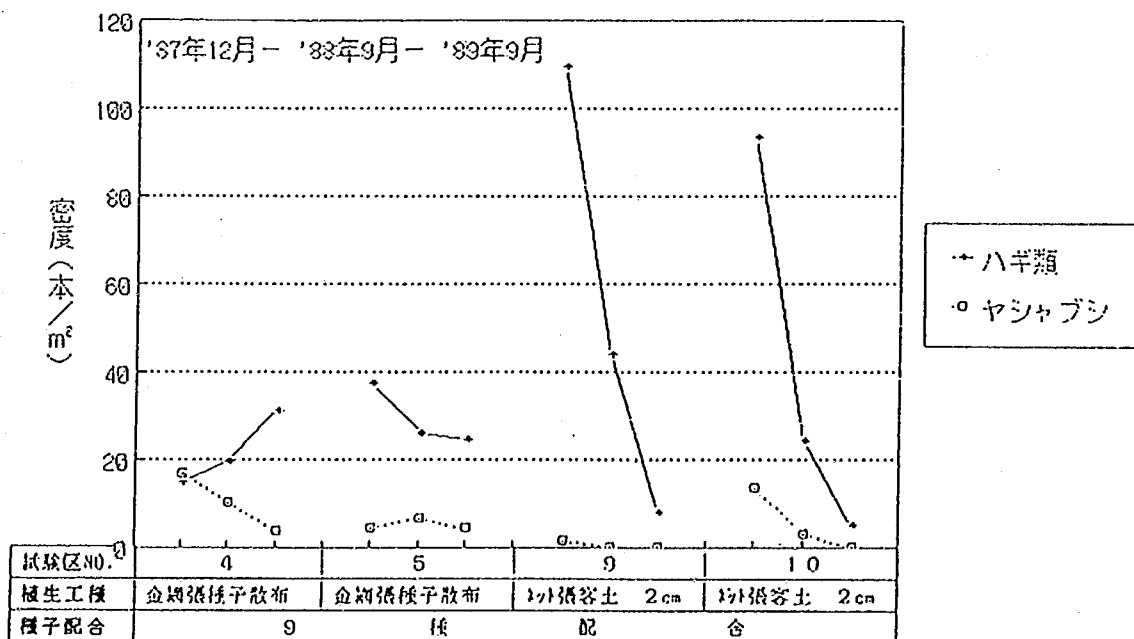


図-2・1・52 木本密度の推移

## 2. 1. 5 吉野川工事

当施工地は、試験施工ではなく砂防ダムの建設に伴って出現した盛土法面に種子付わらむしろ張工を施工したものである。法面は右岸（北向き）と左岸（南向き）とに分かれ、法面の向きにより植生の状況に相違が認められた。

施工は、' 87年3月調査は当年12月、翌年9月（' 88年）、2年後10月（' 89年）に行なわれている。植生推移の状況を図-2・1・53～図-2・1・56に示す。

北向き法面は、施工翌年にはほぼ全面がホワイトクローバーで被覆され、2年後にはホワイトクローバーに加えてハイランドベントグラスが良好な生育を示し、植生被覆率は100%近くを維持している。

これに対し、南向き法面は導入した植物の生育は全般に不良であり、施工2年後でも植生被覆率は約50%と低い状態である。しかし、侵入植物が年々増加しており、植生被覆は今後は改善されていくものと予想される。

表-2・1・9 わらむしろ張り工の材料（種子配合）（吉野川）

| 植 物 名   | 平均粒数<br>(粒/g)                      | 純 度<br>(%) | 発 芽 率<br>(%) | 有効粒数<br>(粒/g) | 播 種 量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 期待発生本数<br>(本/m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------------------|------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| K 3 1 F | 450                                | 98.0       | 85.0         | 375           | 9.5                          | 3,560                         |
| C R F   | 1,130                              | 98.0       | 80.0         | 886           | 1.4                          | 1,240                         |
| P R G   | 500                                | 98.0       | 90.0         | 441           | 4.2                          | 1,850                         |
| I R G   | 490                                | 97.0       | 90.0         | 427           | 2.2                          | 940                           |
| W L G   | 3,300                              | 95.0       | 85.0         | 2,664         | 0.3                          | 800                           |
| O G     | 1,150                              | 98.0       | 80.0         | 902           | 1.2                          | 1,080                         |
| H B G   | 12,000                             | 100.0      | 90.0         | 10,800        | 0.4                          | 4,320                         |
| W C     | 1,500                              | 98.0       | 90.0         | 1,323         | 0.8                          | 1,060                         |
| 肥 料     | 60kg/m <sup>2</sup> N:P:K=10:10:10 |            |              |               |                              |                               |

植物名の略号 K 3 1 F : ケンタッキ-31フェスク I R G : イタリアンライグラス H B G : ハイランドベントグラス  
C R F : クリ-ピングレッドフェスク W L G : ウィ-ピングラグラス W C : ホワイトクローバー  
P R G : ペレニアルライグラス O G : オークチャードグラス

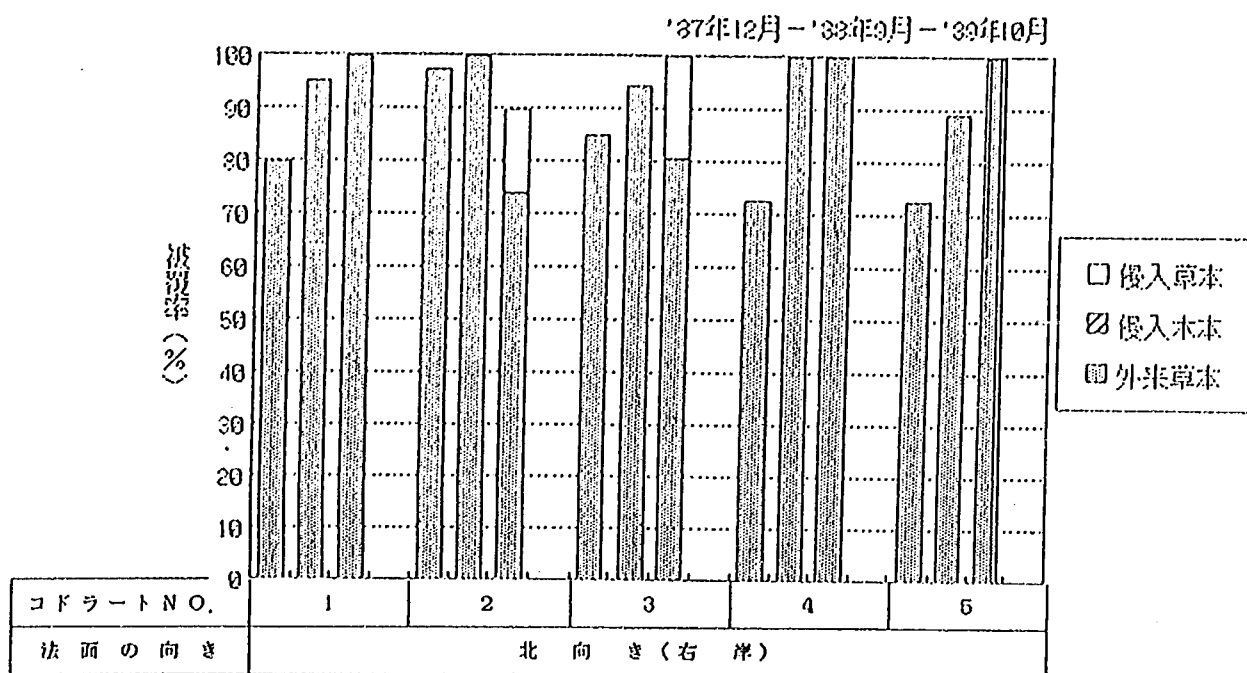


図-2・1・53 被覆率の推移

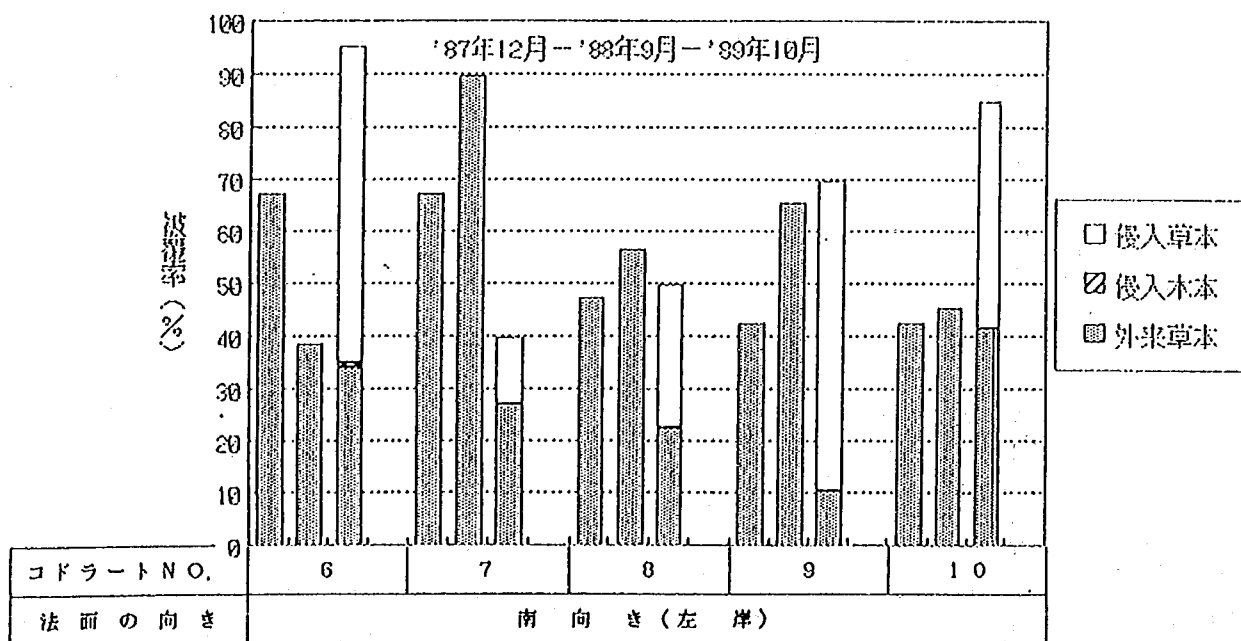


図-2・1・54 被覆率の推移

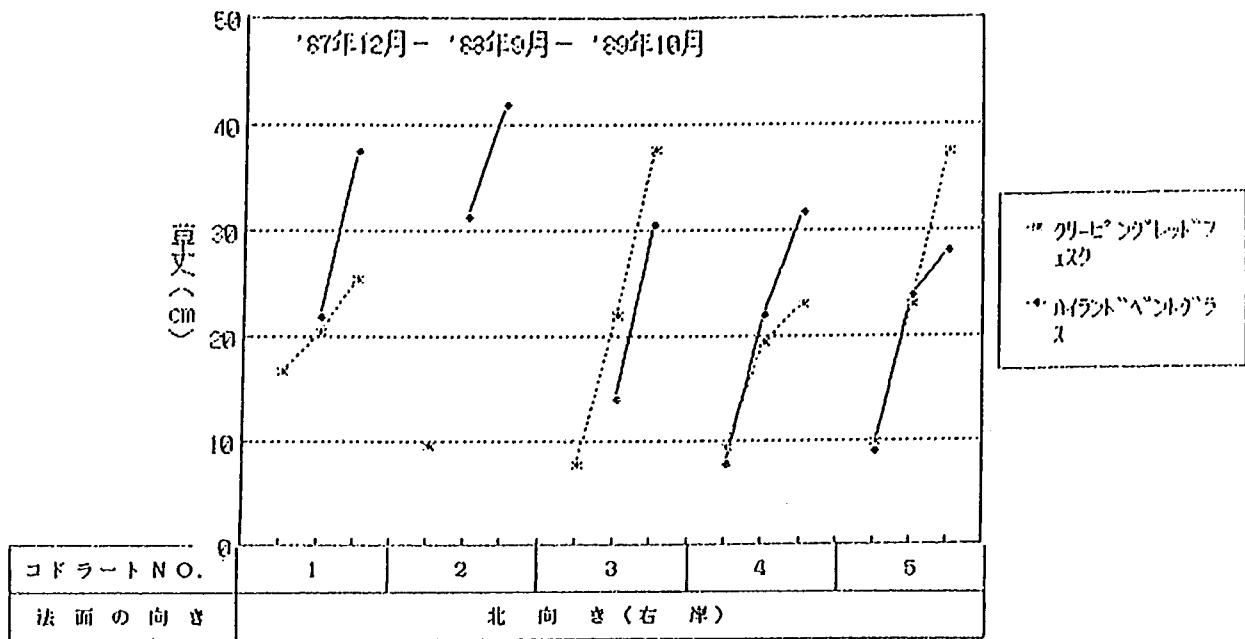


図-2・1・55 草丈の推移

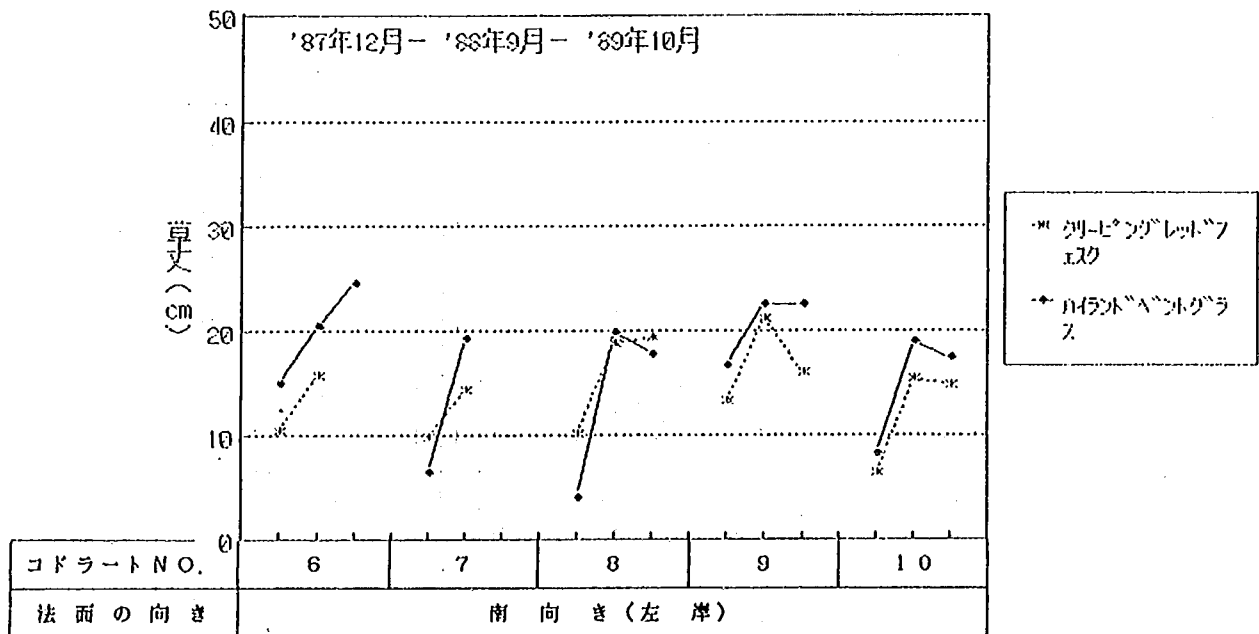


図-2・1・56 草丈の推移

## 2. 1. 6 まとめ（植生推移型の分類）

各施工地での植生状況の推移は種子配合別にいくつかの推移型に分類できると考えられた。この推移型別に模式図を作製し（表-2・1・10、表-2・1・11、表-2・1・12）に示す。

この表において、目標とした植生に向かって順調に推移しているタイプは表-2・1・10（外来草本＋在来草本＋木本類）ではタイプⅡ、Ⅲ、表-2・1・11（外来草本単播）ではタイプⅢ、表-2・1・12（在来草本＋木本類）ではタイプⅠであると言える。これら順調な推移を示している植生工種をみると、種子散布工、客土種子吹付工、厚層基材吹付工の各工種が含まれているが、中でも特に2 cm厚以上の客土種子吹付工では全ての工区がこれらの推移タイプに含まれており、客土種子吹付工は最も確実性の高い植生工種であるという結果であった。これに対し、種子散布工は推移タイプが多様であり、このことは当工法の植生推移は施工地の立地条件に左右されやすく、緑化の確実性に劣ることを示している。一方、厚層基材吹付工はほとんど全ての工区が外来草本密生型（外来・在来草本密生型）となっており、当工法は外来草本が優勢になりやすいという特徴があると考えられた。これら植生工種別の傾向については2・3節で詳しく考察するものとする。

表-2・1・10 植生状況の推移型（その1）（外来草本+在来草本+木本類の混播）

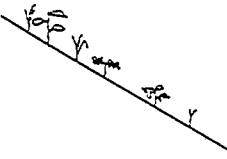
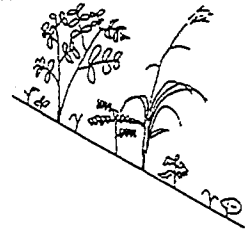
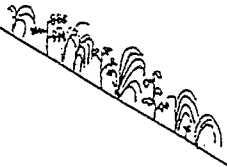
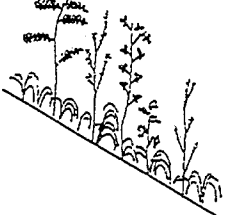
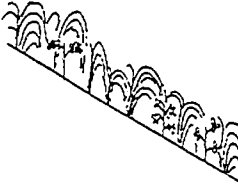
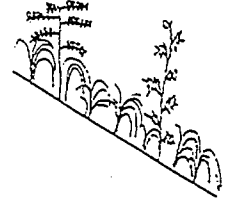
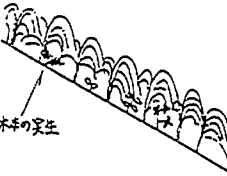
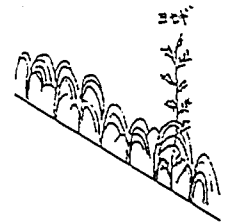
| 推移型                               | 施工1年後                                                                                                                   | 施工2年後                                                                                                                                     | 各推移型に含まれる試験区                        |                                                                                            |                                                          |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                                                                         |                                                                                                                                           | 種子散布工                               | 客土種子吹付工                                                                                    | 厚層基材吹付工                                                  |
| I<br>侵入植物主体型                      | 導入種生育不良<br>草本、木本の侵入始まる<br>植被率、小<br>    | 導入種木本は大型化し点在<br>侵入種大型化する<br>植被率向上<br>                  | 新庄①③配合(1,3工区)                       | 新庄10cm厚①③配合<br>(5,7工区)                                                                     |                                                          |
| II<br>草本木本混生型                     | 外来草本、在来草本<br>木本が混生して生育する。<br>植被率 中<br> | 在来草本、木本が大型化し優占<br>外来草本、下草化（やや衰退する）<br>植被率 中～大<br>      | 渡良瀬川 (a,a'工区)<br>宮崎、9種配合<br>(4、5工区) | 渡良瀬川 1,2,3cm厚<br>(b,b',c,c',d,d'工区)<br>宮崎9種配合<br>(9,10工区)                                  |                                                          |
| III<br>外来草本優占<br>混生型              | 外来草本が優占<br>在来草本、木本類は<br>やや被圧傾向<br>    | 外来草本が優占<br>在来草本、木本類大型化<br>して点在する。<br>(新庄は侵入種やや多い)<br> | 宮崎6種配合(2工区)<br>" " (6工区)            | 渡良瀬川 5cm厚 (1工区)<br>新庄2cm厚①③配合<br>(9,11工区)<br>宮崎10cm厚、6種配合<br>(7工区)<br>" 3cm厚、6種配合<br>(3工区) | 新庄3cm厚①③配合<br>(13,15工区)                                  |
| IV<br>外来草本密生型<br>(外来、在来草本<br>密生型) | 外来草本が密生<br>外来草本や木本は<br>被圧される<br>     | 1年後の状況が確認<br>在来草本や木本の<br>生育は不良である<br>                |                                     |                                                                                            | 渡良瀬川 10～10cm厚<br>(e,e',g,h,i工区)<br>宮崎5cm厚、6種配合<br>(12工区) |

表-2・1・11 植生状況の推移型(その2) 外来草本単播(外来草本+カバノキ科木本を含む)

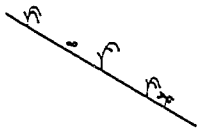
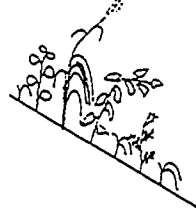
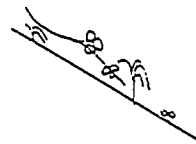
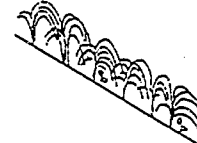
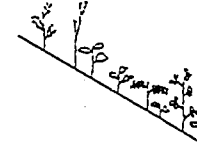
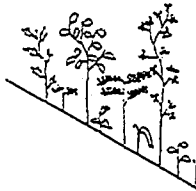
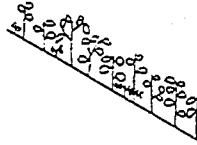
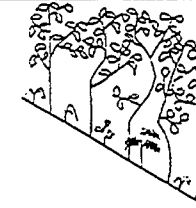
| 推移型                                | 施工1年後                                                                                                                | 施工2年後                                                                                                            | 各種生推移型に含まれる試験区                       |                                                |                         |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|
|                                    |                                                                                                                      |                                                                                                                  | 種子散布工                                | 客土種子吹付工                                        | 厚層基材吹付工                 |
| I<br>侵入植物主体型                       | 導入種生育不良<br>草本、木本の侵入始まる<br>植被率、小<br> | 侵入種大型化<br>植被率向上<br>           | 新庄②④配合(2,4工区)                        |                                                |                         |
| II<br>導入種不良型                       | 導入種生育不良<br>植被率 小<br>                | 施工1年後に同様<br>侵入種少い<br>植被率小<br> | 吉野川南向き法面<br>(わらむしろ張工)                | 新庄1cm厚②④配合<br>(5,8工区)                          |                         |
| III<br>外来草本密生型<br>(外来、在来草本<br>密生型) | 外来草本が密生する<br>                       | 外来草本僅占継続<br>一部に草本侵入<br>(スサ、イワリ、ミギ)                                                                               | 宮崎3種配合(1工区)<br>吉野川南向き法面<br>(わらむしろ張工) | 新庄2cm厚②④配合<br>(10,12工区)<br>宮崎2cm厚3種配合<br>(8工区) | 新庄3cm厚②④配合<br>(14,16工区) |

表-2・1・12 植生状況の推移型(その3) 在来草本+木本類の混播(倉吉工事)

|              |                                                                                                                           |                                                                                                                              |                                                            |                |  |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------|--|
| I<br>草本木本混生型 | 導入種生育良好<br>植被率 中<br>                   | 導入種大型化<br>植被率向上<br>                      | 倉吉<br>法面(1工区)<br>天端(客土25cm厚<br>+種子散布工)<br>(7,8,10,11,12工区) | 倉吉2cm(2,3,4工区) |  |
| II<br>木本密生型  | 同一種の木本が密生<br>他種植物は被圧され<br>生育不良である。<br> | 木本が一斉に大型化<br>(カバノキ科木本の<br>単純群落となる。)<br> | 倉吉・天端<br>(客土25cm厚+種子散布工)<br>(9工区)                          |                |  |

## 2. 2 種子配合別の傾向

4箇所の試験地では、種子配合を変えて、種子配合の相違による植生の差異を見ている。種子配合の試験内容は、1) 草本の播種量を変えて草本が木本を被圧する程度をみたもの（新庄、渡良瀬川、宮崎）と、2) 草本と木本全体の播種量を変えて適切な播種量を検討したもの、（倉吉）とがある。

これら種子配合試験の結果は次のようであった。

### 1) 草本の播種量を変えて草本が木本を被圧する程度をみた試験

新庄、渡良瀬川、宮崎では、外来草本+在来草本+木本の種子配合の試験区で草本類の播種量を1:2の割合に変えて試験を行っている。施工1年後の両者の草本の生育状況を比較した結果、密度においても、植被率においても、播種量の増減に伴う有意な差異は認められなかった。播種量の増減は、期待発生根数において外来草本が1,400~3,200本/m<sup>2</sup>、在来草本が1,200~2,700本/m<sup>2</sup>であり、この程度の播種量の増減では成立する植生に大きな影響を与えることはないという結果であった。

### 2) 草本及び木本全体の播種量を変えた試験

倉吉工事では、堤体天端に厚さ25cmの客土を布設し、その上から種子散布工を行っている。この種子配合は、(1)配合を基本とし、(3)配合は(1)配合の全播種量を2倍、(4)配合は(1)配合の全播種量を4倍に設定している。

当試験の結果は、前記の植生状況の推移(2.1.3項)で詳しく述べているが、播種量最大の9工区、12工区で木本のみが目立って成立本数が多く、草本の生育の差異は認められなかった。すなわち、草本は期待発生根数発生本数1,770~7,090本/m<sup>2</sup>の差はなかった。また、木本は540本~1,070本/m<sup>2</sup>の差はないが、2,130本/m<sup>2</sup>で成立本数が著しく多いという結果であった。

各試験地毎の種子配合比較試験の内容と結果の概要を表-2.3~表-2.6及び図-2.2.1~図-2.2.21に示す。

表-2・3 新庄工事 種子配合別の比較

| 比較した<br>種子配合名                           | 比較に用いた<br>植生工種                                                        | 種子配合の比較内容                                                                                                                      | 植 生 の 傾 向                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①配合<br> <br>②配合<br> <br>③配合<br> <br>④配合 | 種子散布工<br><br>客土種子吹付工<br>1 cm厚<br>客土種子吹付工<br>2 cm厚<br>厚層基材吹付工<br>3 cm厚 | ①③配合-外来草本+在来草本<br>+木本類<br>②配合-外来草本+木本<br>④配合-外来草本のみ<br><br>期待発生本数(外来草本)<br>①配合 1,821本<br>② // //<br>③ // 3,225本<br>④ // 6,805本 | 種子散布工と客土種子吹付工1 cm厚では、草本の生育は全て不良であり、①②③④配合での差異は認められなかった。<br><br>客土種子吹付工2 cm厚と厚層基材吹付工3 cm厚では、全て外来草本が密生し、①②③④配合の差異は認められなかった。 |

表-2・4 渡良瀬川工事 種子配合別の比較

| 比較した<br>種子配合名         | 比較に用いた<br>植生工種                                              | 種子配合の比較内容                                                                             | 植 生 の 傾 向                        |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| (1) 配合<br> <br>(2) 配合 | 種子散布工<br><br>客土種子吹付工<br>1, 2, 3 cm厚<br><br>厚層基材吹付工<br>3 cm厚 | (1) (2) 配合共に<br>外来草本+在来草本+木本類<br><br>期待発生本数(外来草本)<br>(1) 配合 1,490本<br>(2) // 2,740 // | 各植生工種共に、草本類の播種量の増減に伴う植生の差異はなかった。 |

表-2・5 倉吉工事 種子配合別の比較

| 比較した<br>種子配合名                        | 比較に用いた<br>植生工種                | 種子配合の比較内容                                                                                                                                                                                                                      | 植 生 の 傾 向 |    |            |      |            |        |            |        |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|------------|------|------------|--------|------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 配合<br> <br>(3) //<br> <br>(4) // | 客土工<br>(25 cm厚)<br>+<br>種子散布工 | (1) (3) (4) 配合共に、<br>在来草本+木本類<br><br>期待発生本数<br><table><tr><td>在来草本</td><td>木本</td></tr><tr><td>(1) 1,770本</td><td>540本</td></tr><tr><td>(3) 3,420本</td><td>1,070本</td></tr><tr><td>(4) 7,090本</td><td>2,130本</td></tr></table> | 在来草本      | 木本 | (1) 1,770本 | 540本 | (3) 3,420本 | 1,070本 | (4) 7,090本 | 2,130本 | (1) 配合と(3) 配合の差<br>は明確ではない。<br>(4) 配合でのバーディオール<br>無施用区(9工区)では、<br>カバノキ科木本、(4) 配合<br>のバーディオール施用区(12<br>工区)では、ハギ類木本の発<br>芽数、成立本数共に(1) (3)<br>配合の対照区を大きく上<br>回った。 |
| 在来草本                                 | 木本                            |                                                                                                                                                                                                                                |           |    |            |      |            |        |            |        |                                                                                                                                                                |
| (1) 1,770本                           | 540本                          |                                                                                                                                                                                                                                |           |    |            |      |            |        |            |        |                                                                                                                                                                |
| (3) 3,420本                           | 1,070本                        |                                                                                                                                                                                                                                |           |    |            |      |            |        |            |        |                                                                                                                                                                |
| (4) 7,090本                           | 2,130本                        |                                                                                                                                                                                                                                |           |    |            |      |            |        |            |        |                                                                                                                                                                |

表-2・6 宮崎工事 種子配合別の比較

| 比較した<br>種子配合名                 | 比較に用いた<br>植生工種               | 種子配合の比較内容                                                                      | 植 生 の 傾 向                                                               |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 9種配合<br> <br>9種外来草<br>本 1/2配合 | 種子散布工<br><br>客土種子吹付工<br>2cm厚 | 外来草本+在来草本+木本類<br><br>期待発生本数(外来草本)<br><br>9種 2,810本<br><br>9種外来草本 1/2<br>1,400本 | 種子散布工では、外来草本<br>1/2の方が外来草本の被覆率<br>がやや低い、客土種子吹付<br>工2cm厚では両者の差はなか<br>った。 |

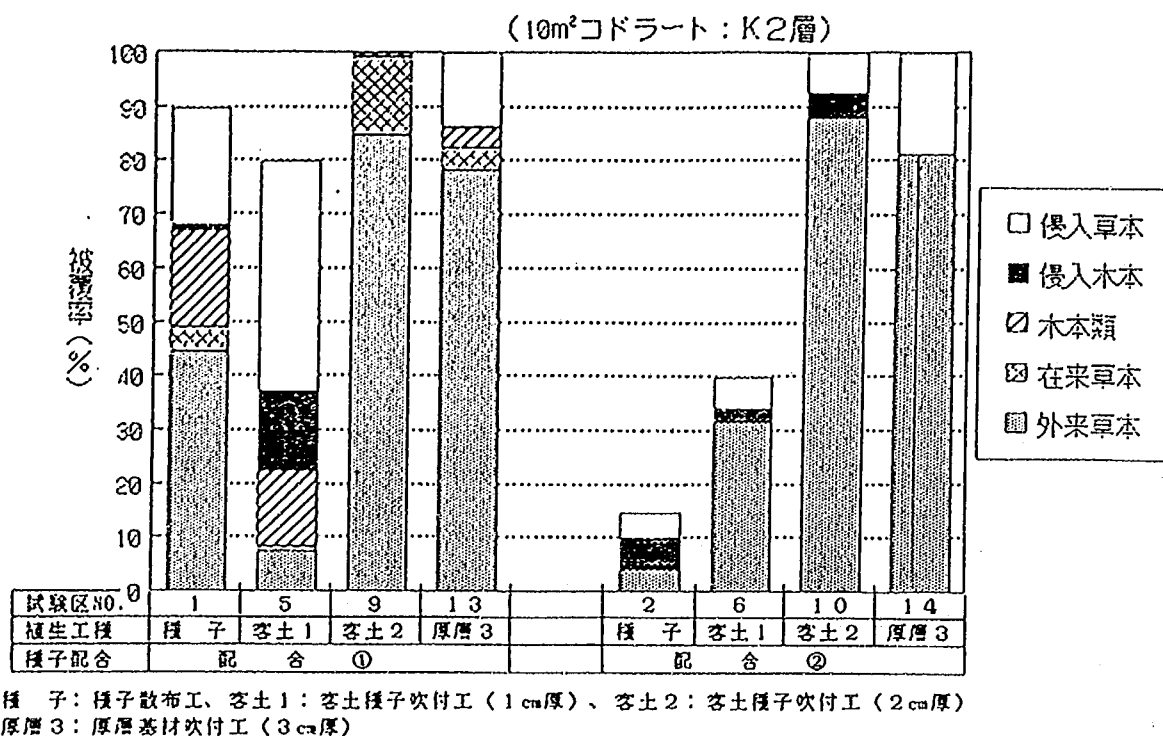


図-2・2・1 工種別の比較（新庄） 被覆率（10m<sup>2</sup>コドラート）

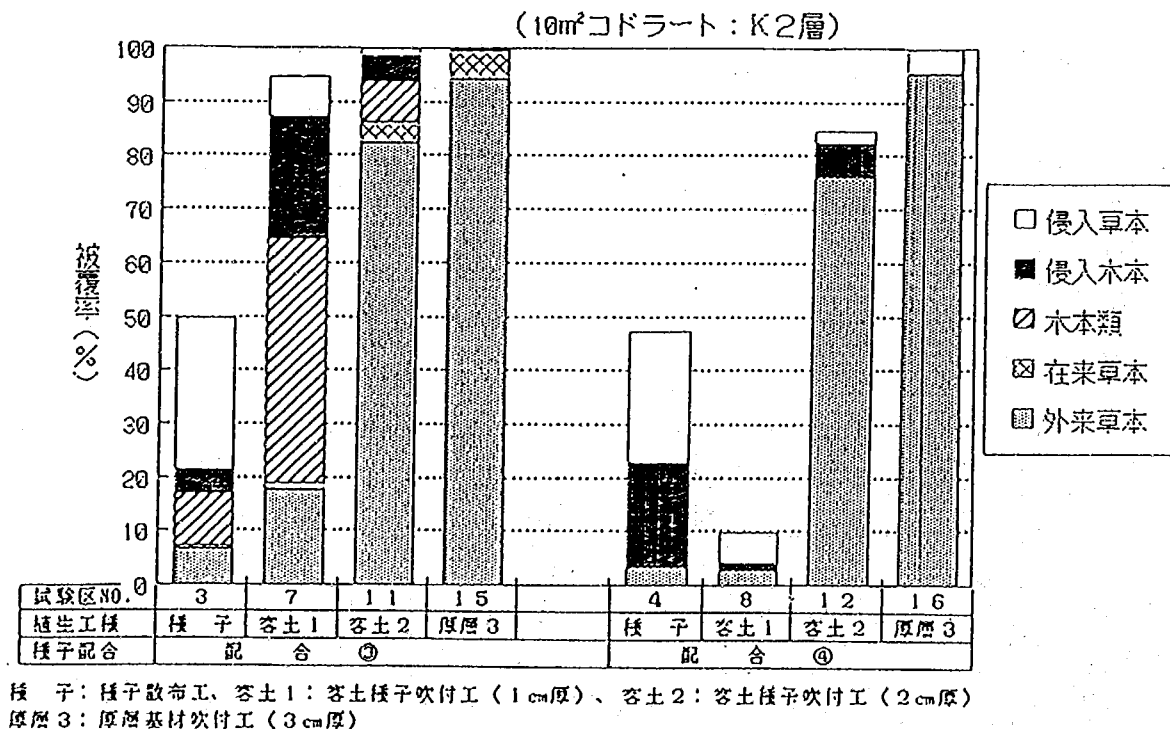


図-2・2・2 工種別の比較（新庄） 被覆率（10m<sup>2</sup>コドラート）

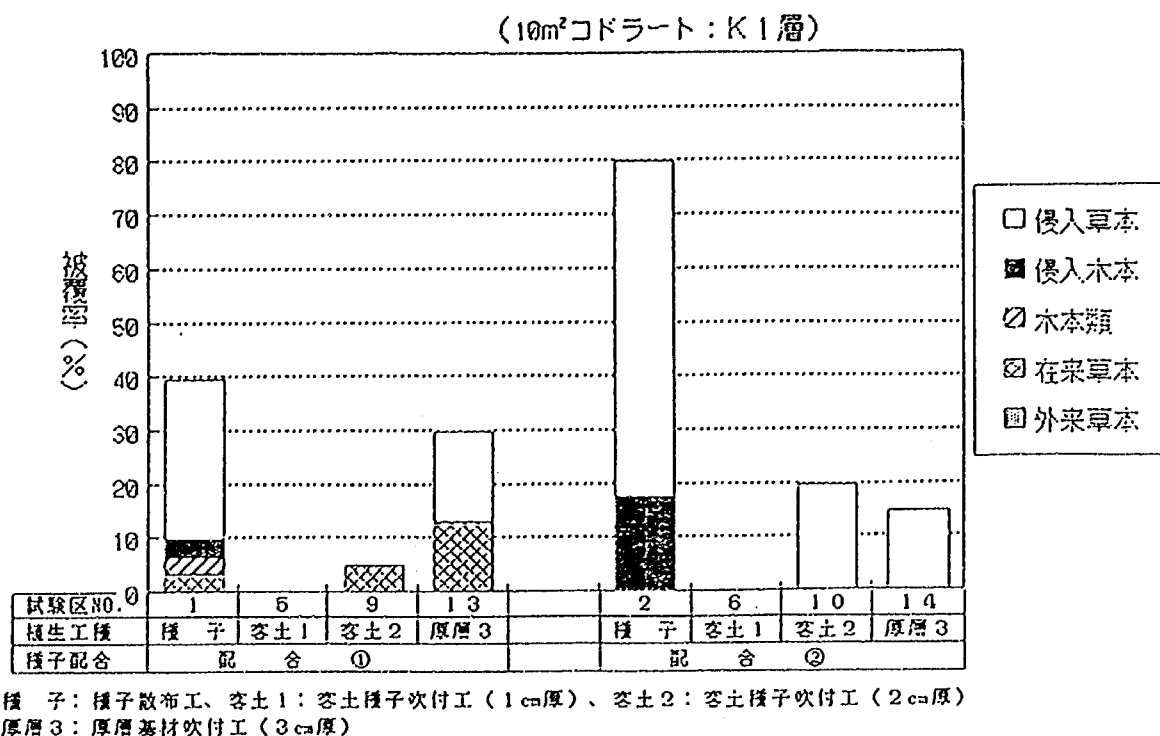


図-2・2・3 工種別の比較（新庄） 被覆率（10m<sup>2</sup>コドラート）

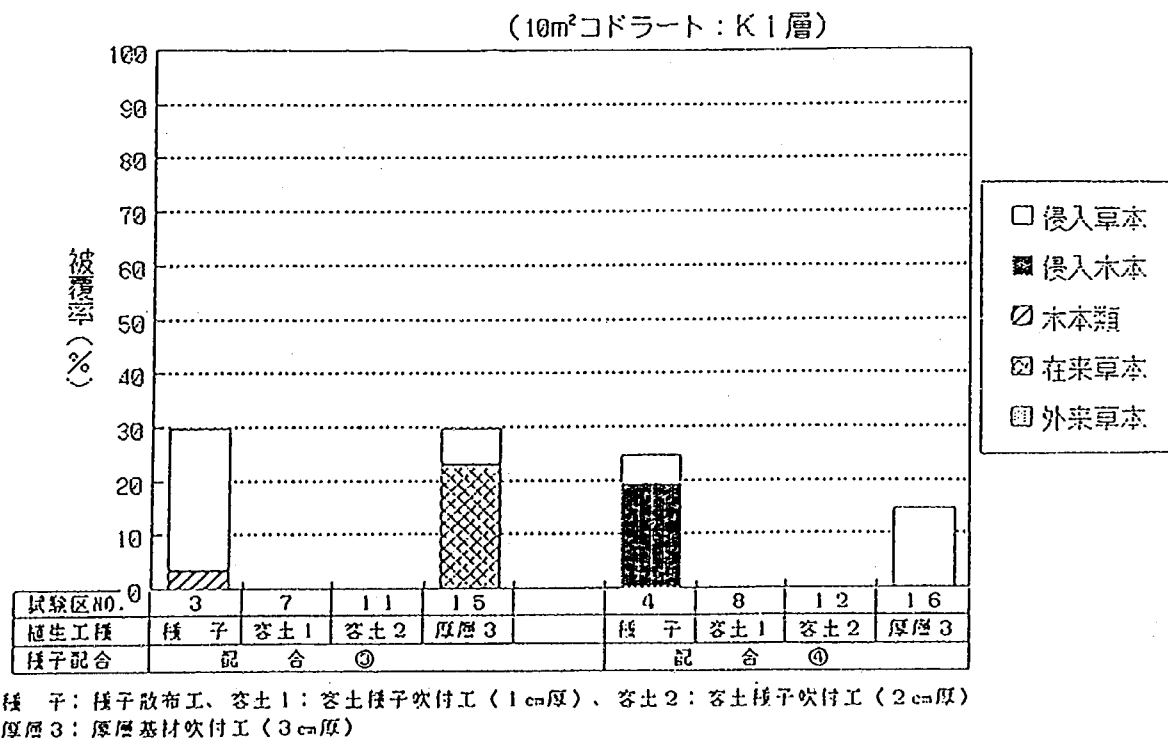


図-2・2・4 工種別の比較（新庄） 被覆率（10m<sup>2</sup>コドラート）

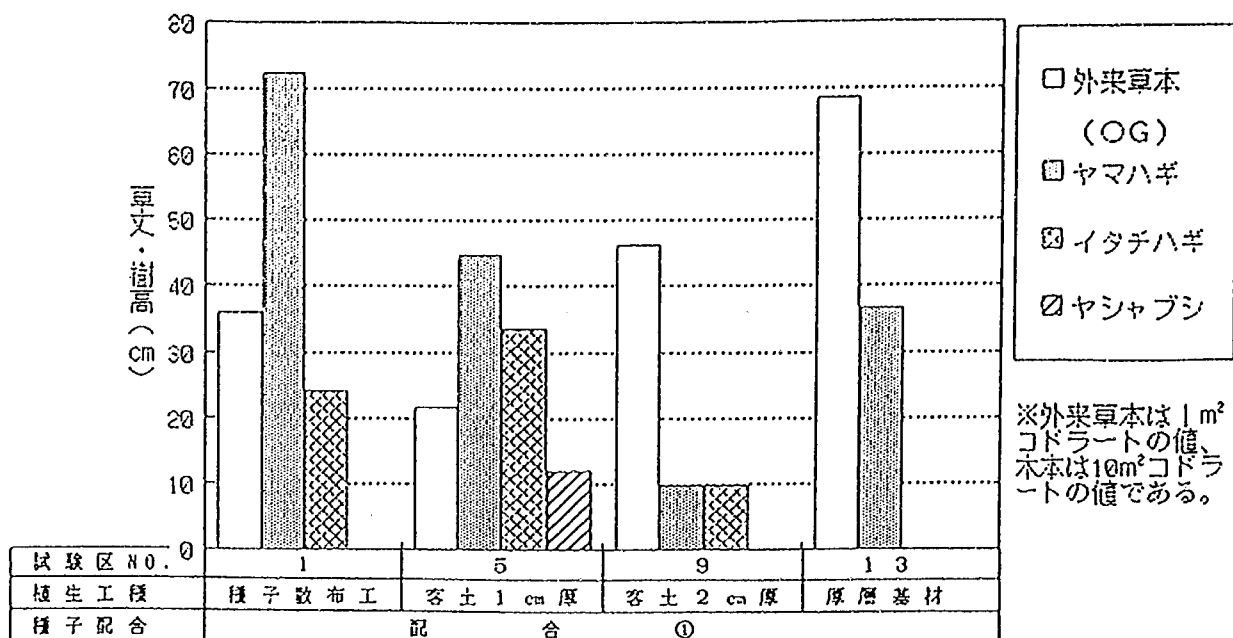


図-2・2・5 工種別の比較(新庄) 草丈・樹高

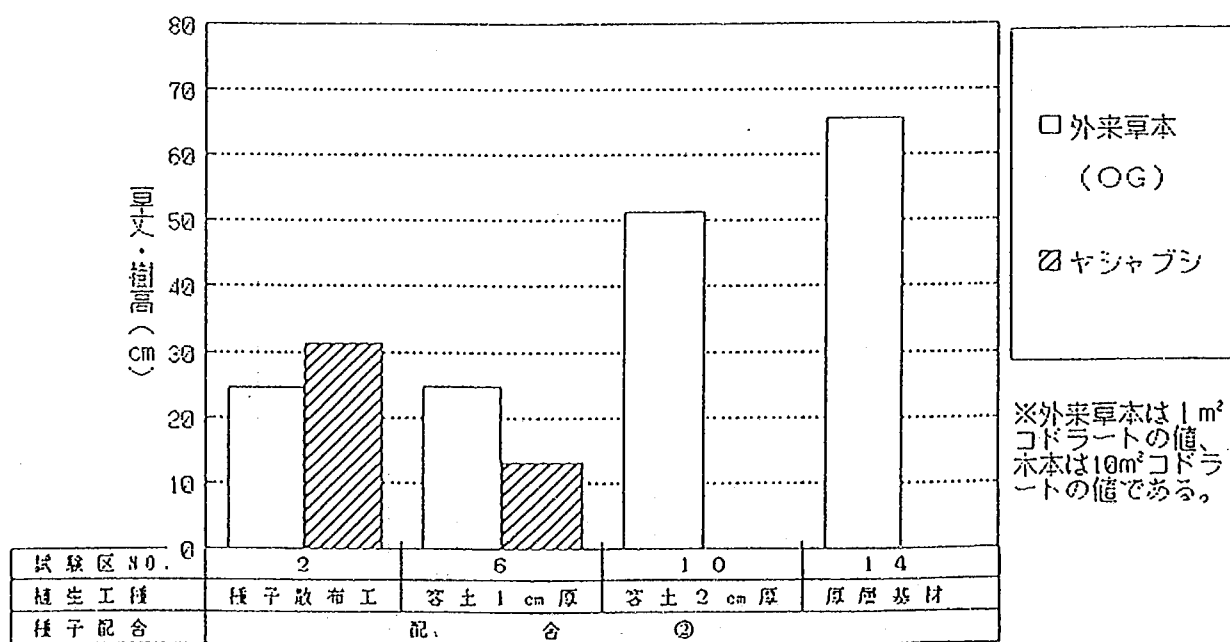


図-2・2・6 工種別の比較(新庄) 草丈・樹高

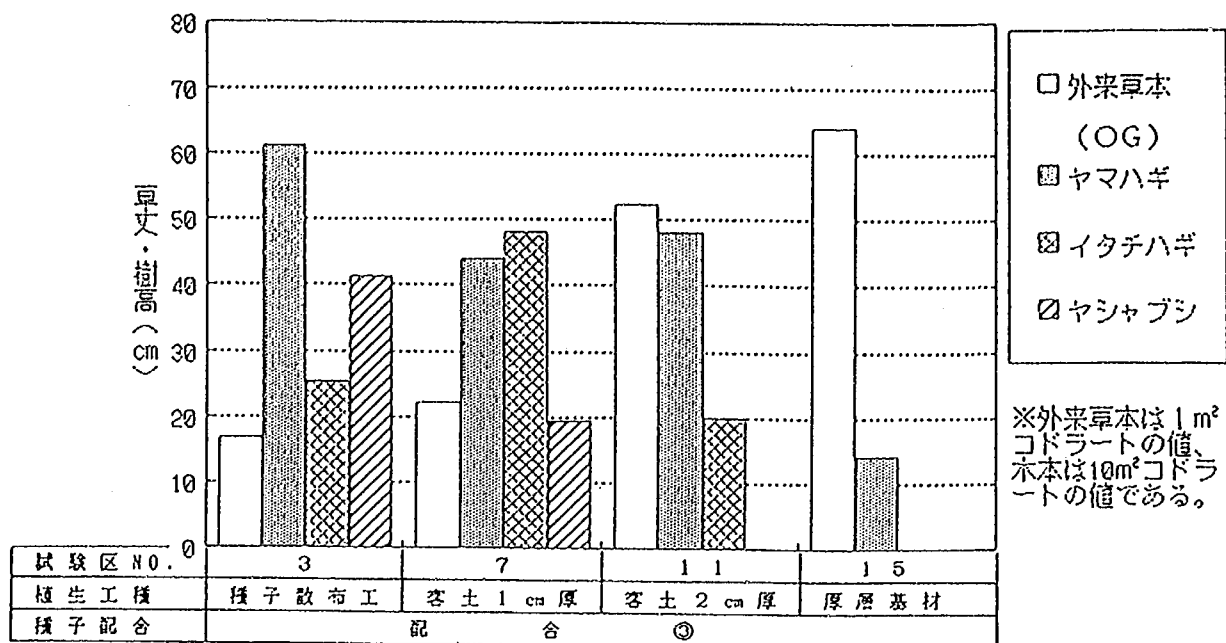


図-2・2・7 工種別の比較 (新庄) 草丈・樹高

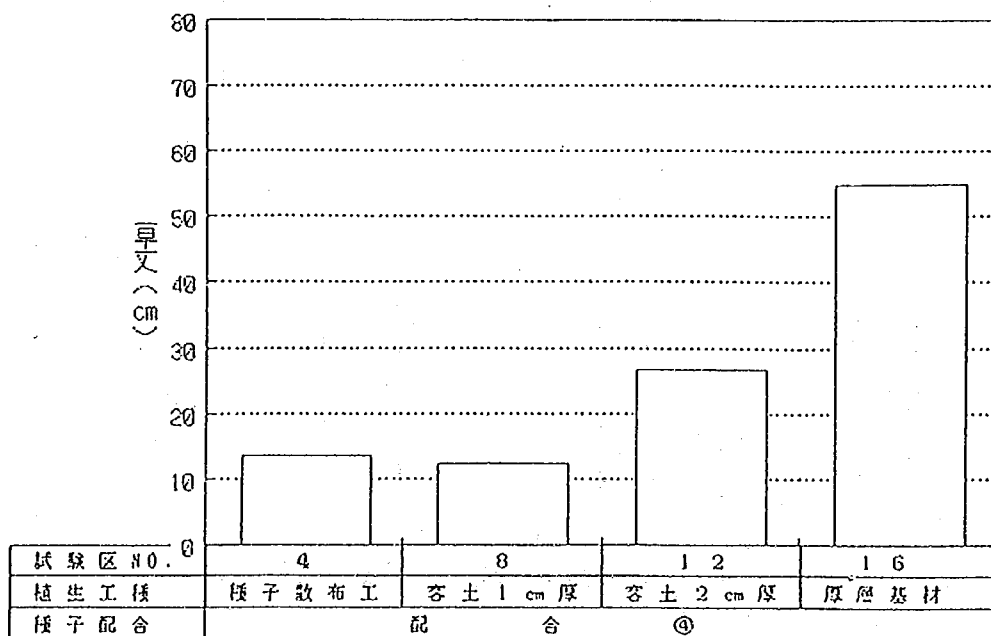
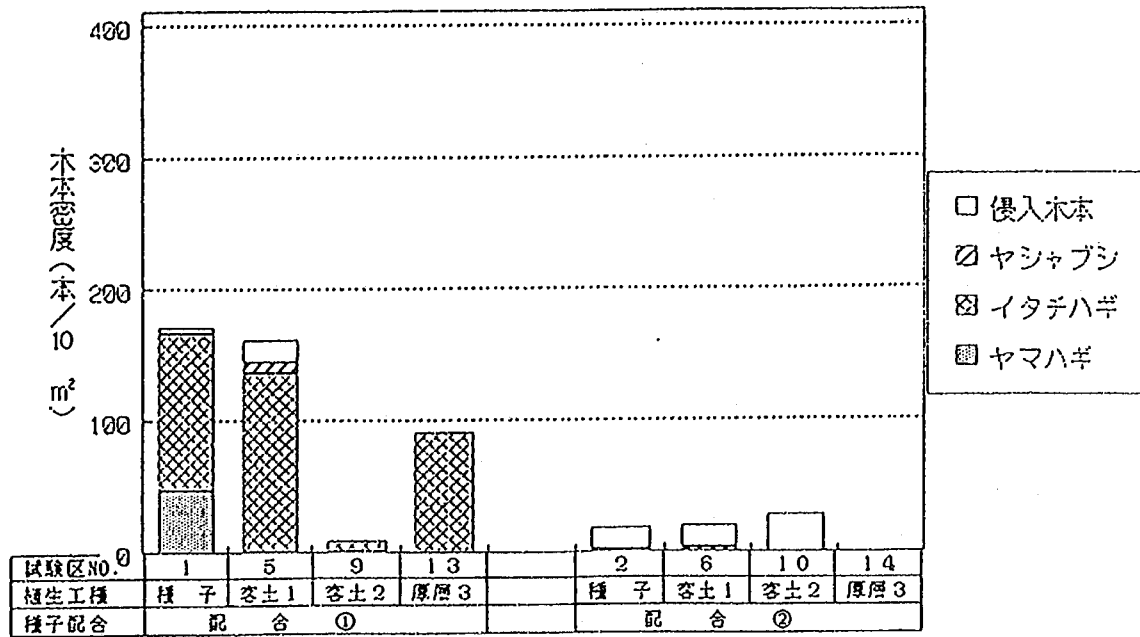
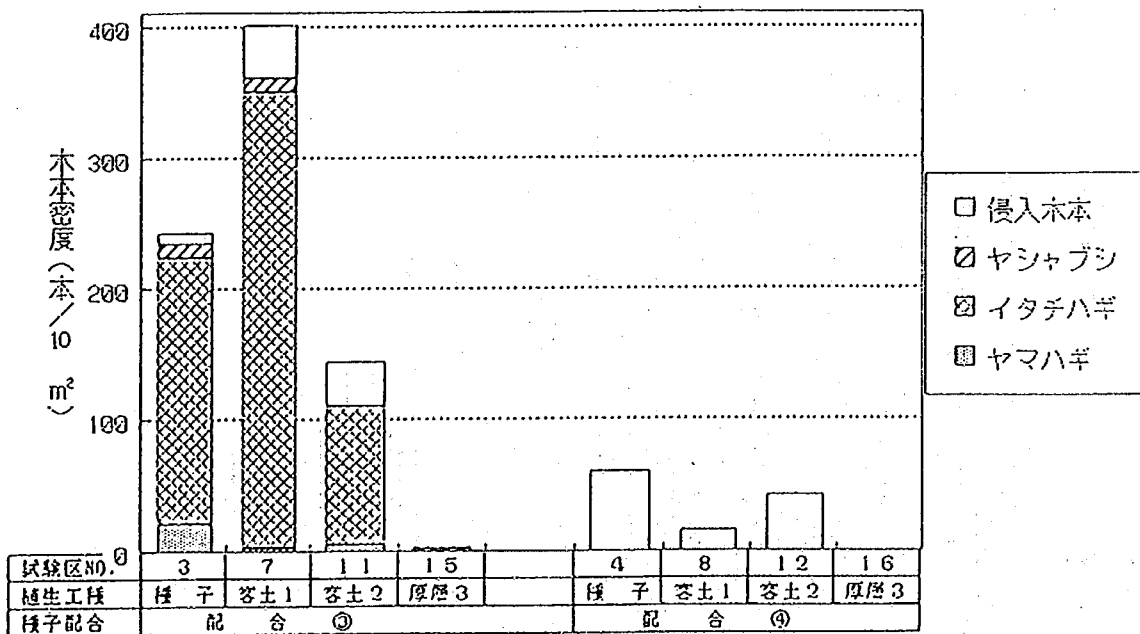


図-2・2・8 工種別の比較 (新庄) OGの草丈



種子：種子散布工、客土1：客土種子吹付工（1cm厚）、客土2：客土種子吹付工（2cm厚）  
厚層3：厚層基材吹付工（3cm厚）

図-2・2・9 工種別の比較（新庄） 木本密度（10㎡コドラート）



種子：種子散布工、客土1：客土種子吹付工（1cm厚）、客土2：客土種子吹付工（2cm厚）  
厚層3：厚層基材吹付工（3cm厚）

図-2・2・10 工種別の比較（新庄） 木本密度（10㎡コドラート）

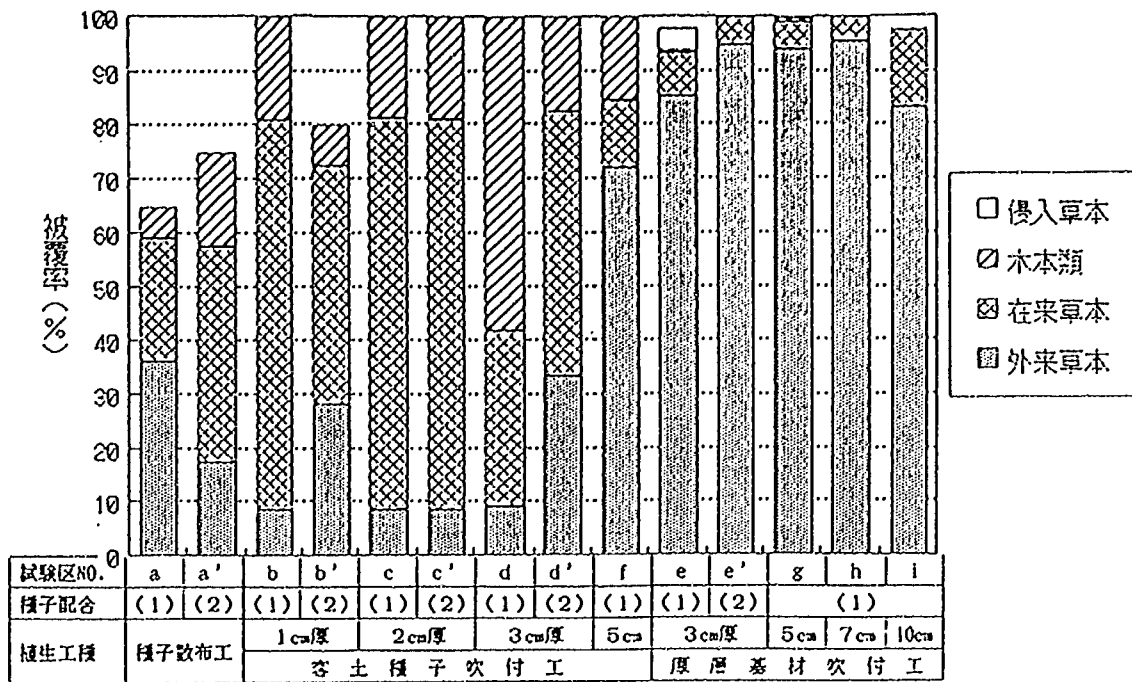


図-2・2・11 工種別の比較(渡良瀬) 被覆率(10㎡コドラート)

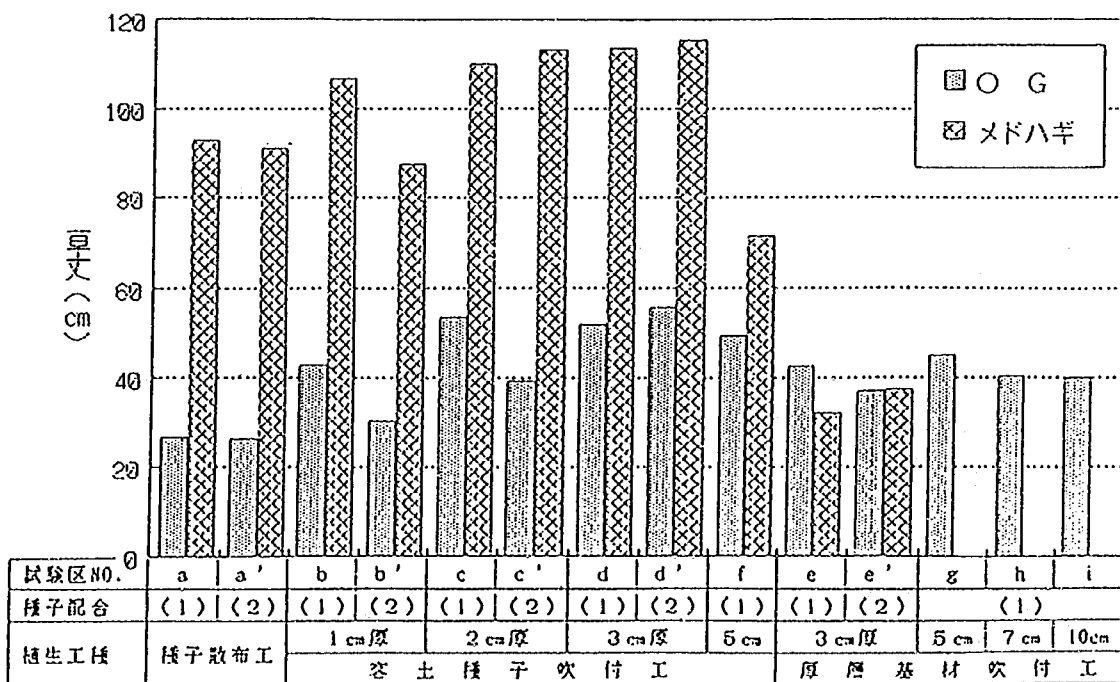


図-2・2・12 工種別の比較(渡良瀬) 草丈(1㎡コドラート)

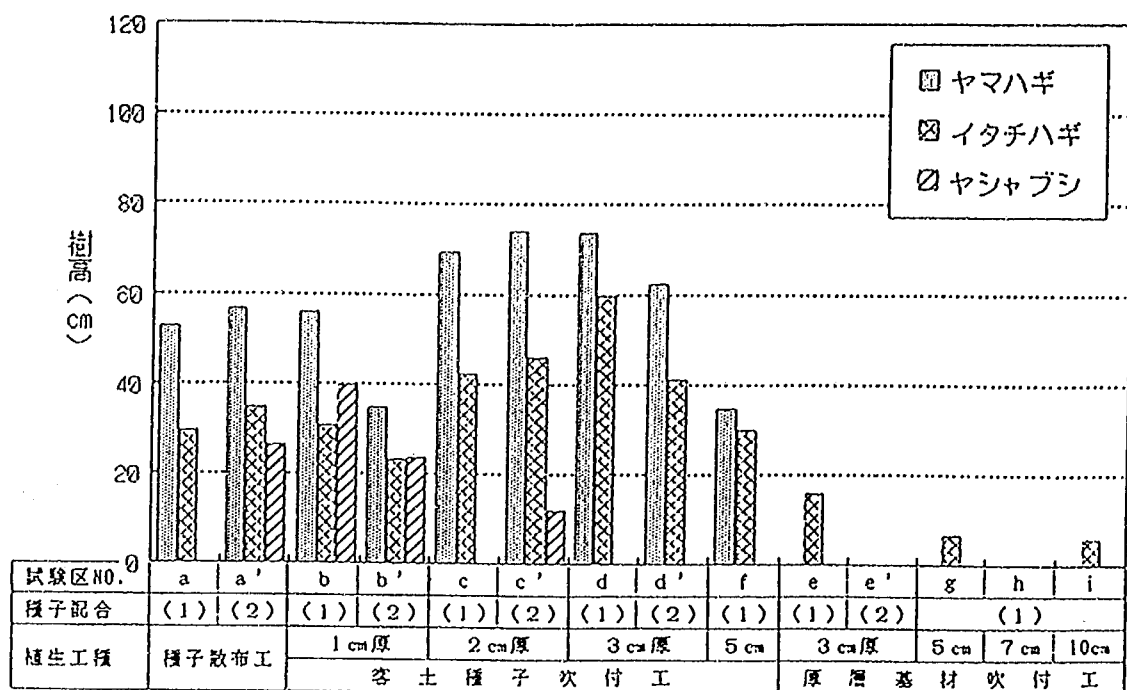


図-2・2・13 工種別の比較(渡良瀬) 樹高(10㎡コドラート)

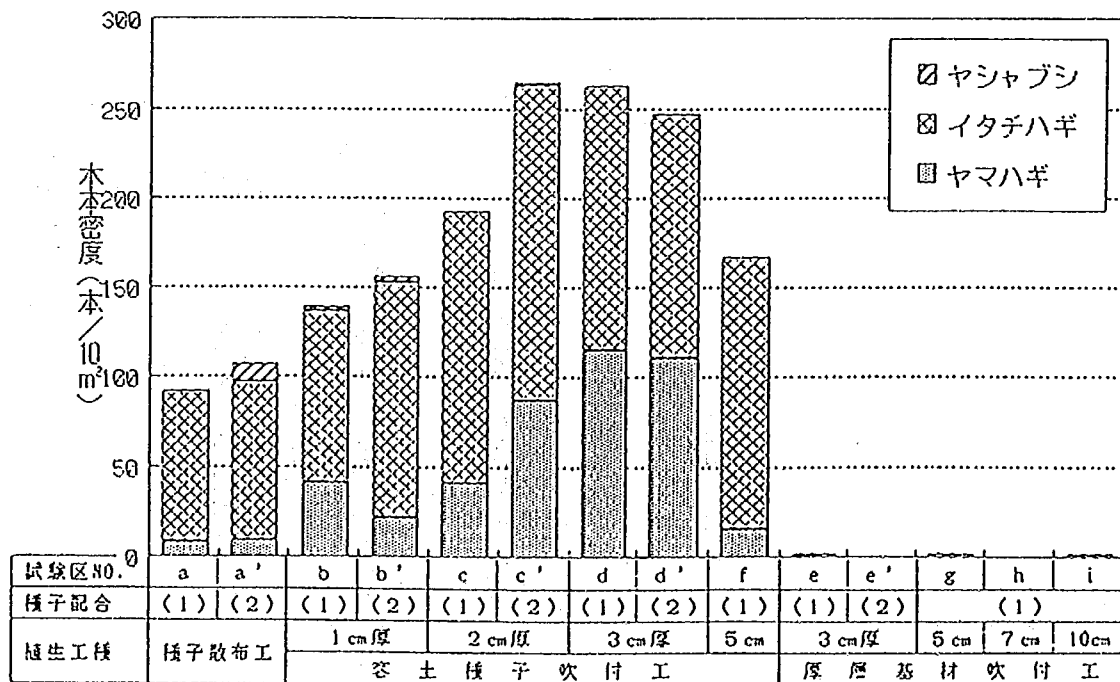


図-2・2・14 工種別の比較(渡良瀬) 木本密度(10㎡コドラート)

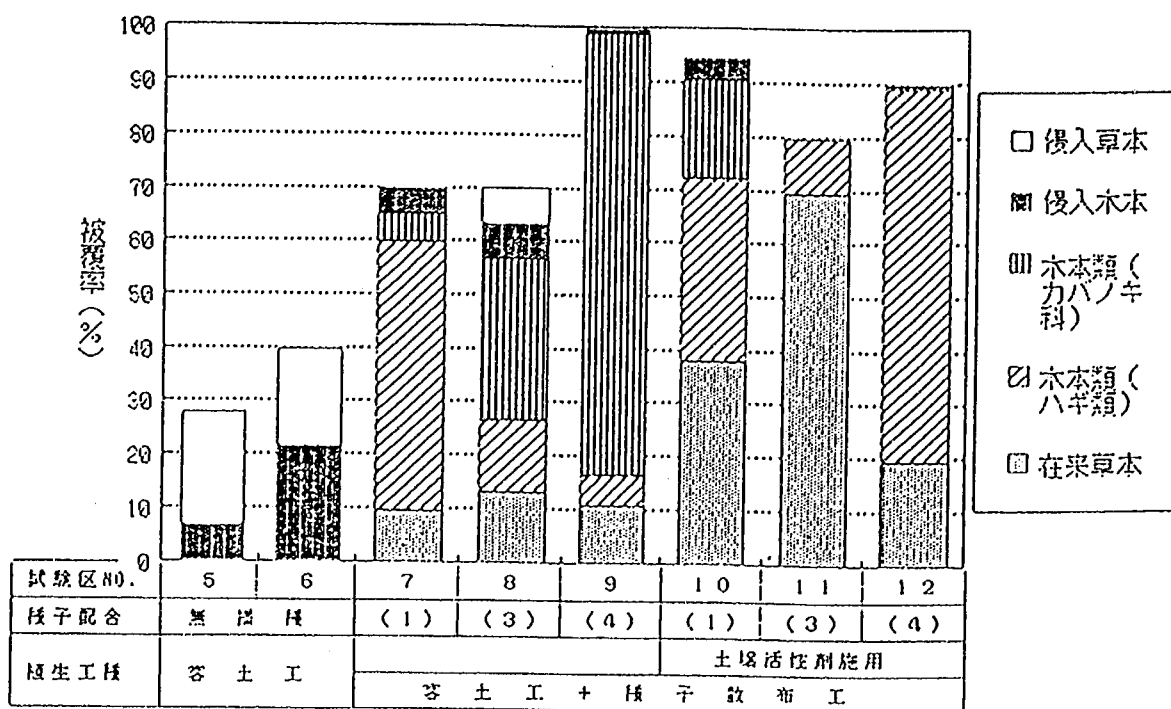


図-2・2・15 工種別の比較(倉吉) 被覆率(10㎡コドラート)

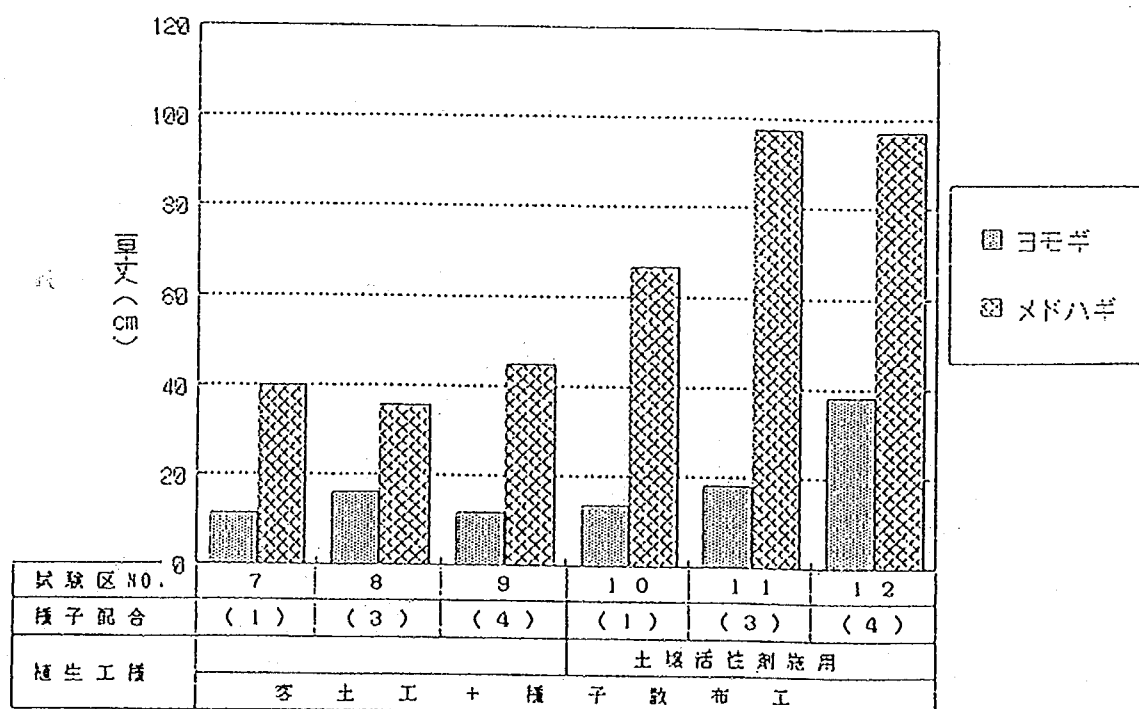


図-2・2・16 工種別の比較(倉吉) 草丈(1㎡コドラート)

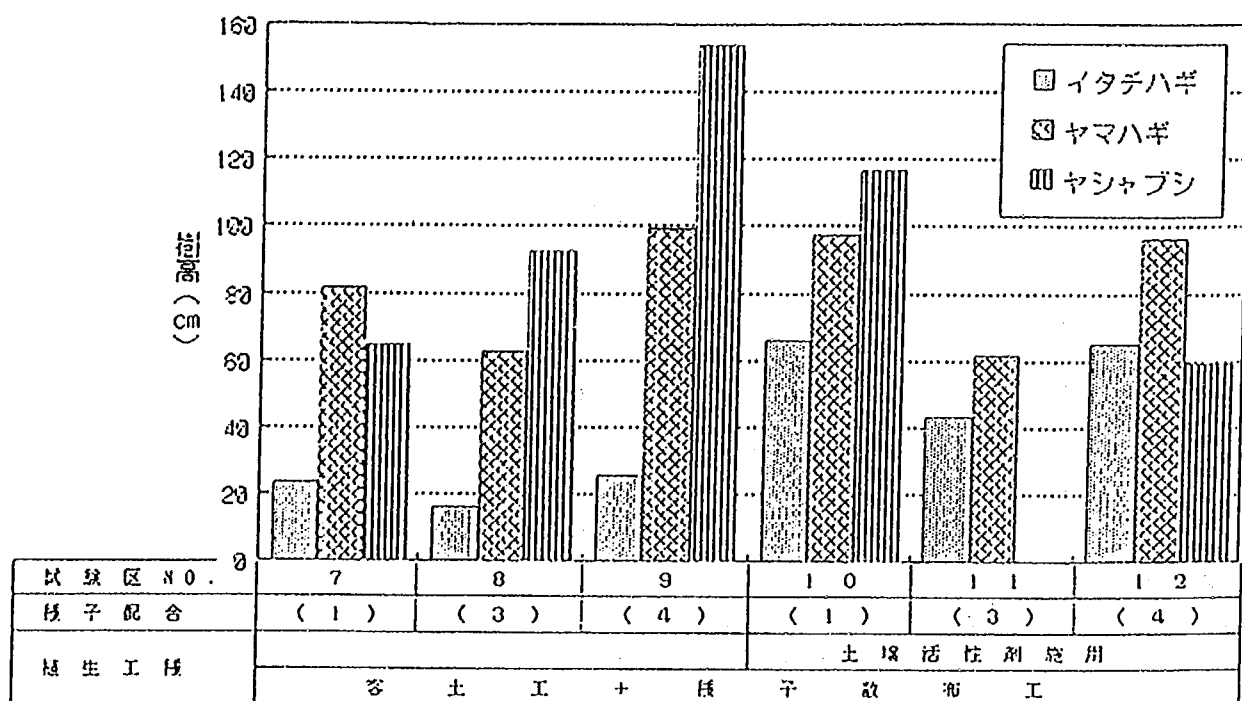


図-2・2・17 工種別の比較(倉吉) 樹高(10㎡コドラート)

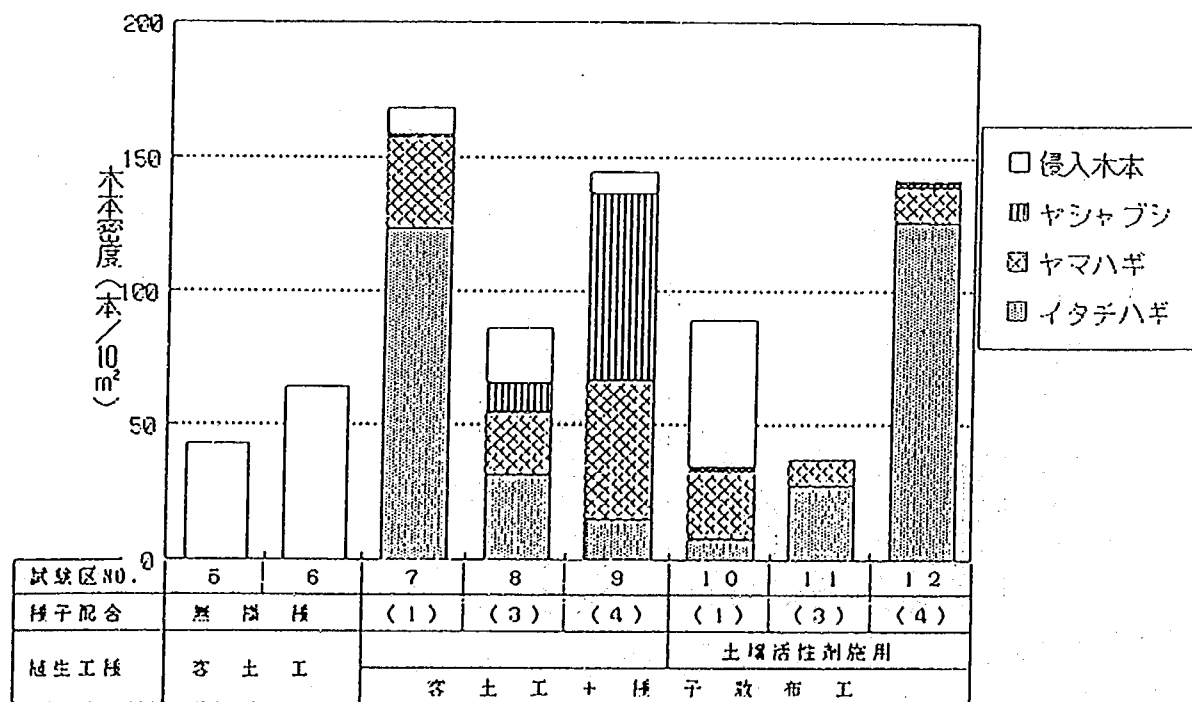


図-2・2・18 工種別の比較(倉吉) 木本密度(10㎡コドラート)

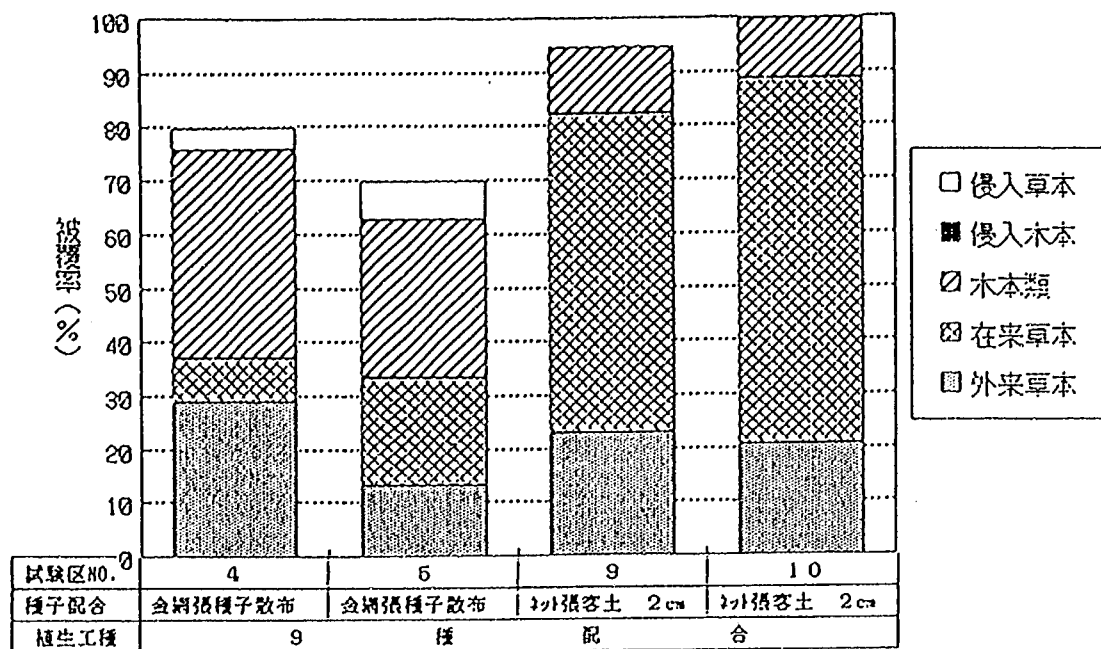


図-2・2・19 工種別の比較(宮崎) 被覆率(10㎡コドラート)

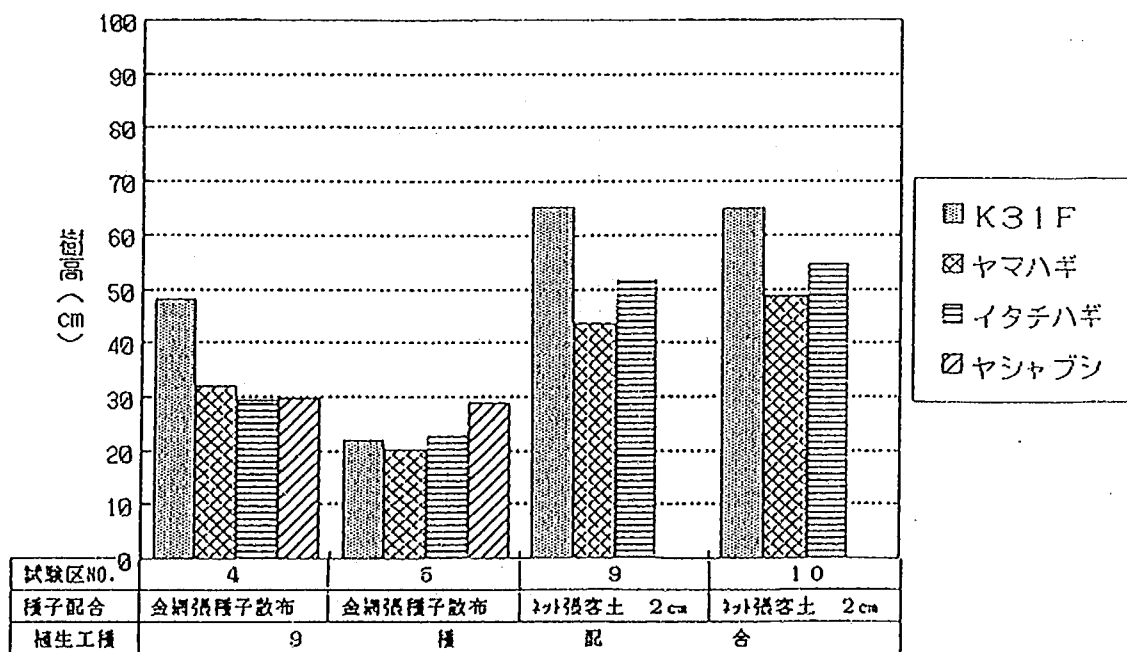


図-2・2・20 工種別の比較(宮崎) 草丈・樹高(10㎡コドラート)

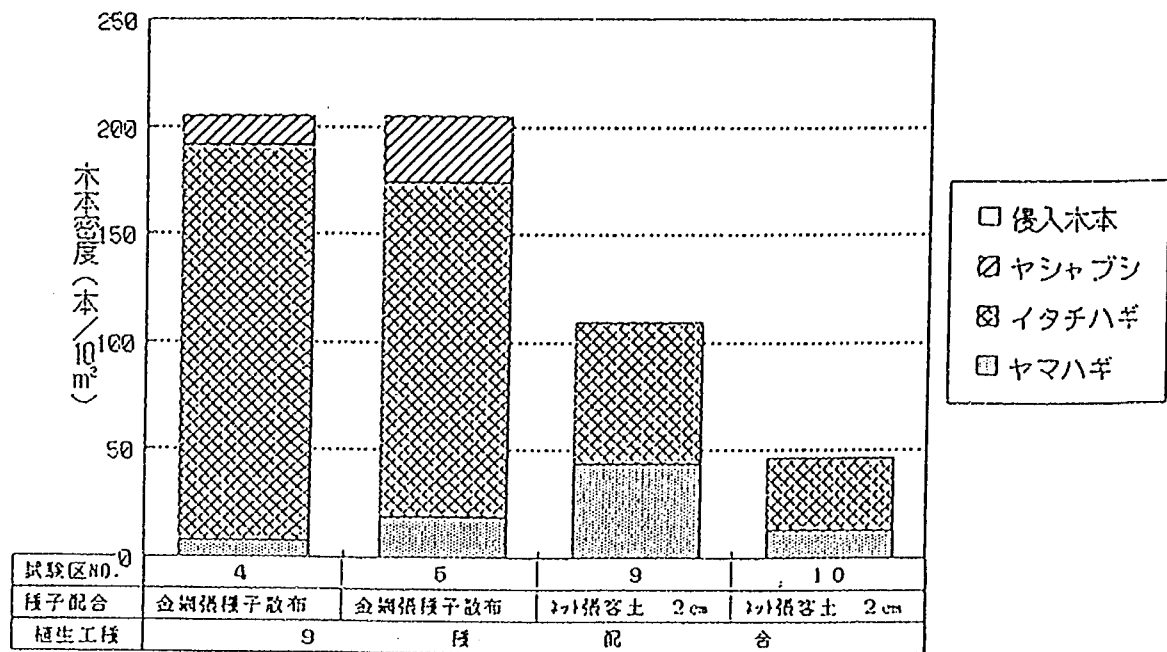


図-2・2・21 工種別の比較(宮崎) 木本密度(1.0㎡コドラート)

## 2. 3 植生工種別の傾向

### 2. 3. 1 植生工種別の傾向（種子配合別）

植生工種別の植生状況を比較するには、同一の（あるいは近似した）種子配合で比較することが必要である。

ここでは、種子配合が「外来草本＋在来草本＋木本類」（新庄、渡良瀬、宮崎）、「在来草本＋木本」（倉吉工事）、「外来草本のみ」（宮崎工事、吉野川工事）の植生工種別の植生の傾向を表－2・7～表－2・9及び図－2・3・1～図－2・3・11（新庄、渡良瀬及び倉吉、宮崎工事の一部については2. 2項に掲載）に示す。

またこれらの結果から、各植生工種の特徴をまとめて述べることにする。（2. 3. 2項）

表-2・7

植生工種別の傾向（外来草本+在来草本+木本）

新庄・渡良瀬川・宮崎

|                                                     | 種子散布工                                                                                                                      | 客土種子吹付工                                                                                                                                                                     | 厚層基材吹付工                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 発芽の状況                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・工区内の位置により、発芽密度にばらつきが生じる。</li> <li>・木本の発芽は、客土種子吹付工と同程度かやや劣る程度である。</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発芽は全面的で均一である。</li> <li>・木本類の発芽は最も良好であり、カバノキ科木本の発芽も見られる。</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発芽は全面的で均一である。</li> <li>・ハナノキ科木本---発芽良好<br/>カバノキ科木本---発芽不良</li> </ul> |
| 外来草本の生育<br>(期待発生本数<br>1,400~3,200本/m <sup>2</sup> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・草丈、被覆率共に3工種のうちで最も劣る。</li> <li>・宮崎以外では、施工2年後には、衰退の傾向にある。</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・草丈、被覆率は中間的であり、外来草本は密生しない。</li> <li>・厚さが厚い程、生育が良好となる傾向にある。</li> </ul>                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・草丈、被覆率は最大であり外来草本の密生した植生となり、この状態は継続する。</li> </ul>                     |
| 木本の生育                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発芽した個体の多くは確実に生育している。<br/>(草本による被圧は受けていない。)</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外来草本が密生した工区以外は木本の生育は良好である。(外来草本の密生した新庄 2cm厚、渡良瀬川 5cm厚では木本は外来草本に被圧されて生育が不良である。)</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外来草本の被圧のために木本の成立がほとんど見られない。</li> </ul>                               |
| その他                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・新庄では侵入植物が多く、施工2年後には植生の主体となりつつある。</li> <li>・植生被覆の小さい工区でも浸食の発生はほとんど見られない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用材料により植生が異なる。<br/>有機質使用--- 外来草本優盛である(新庄、宮崎)<br/>黒ボク使用--- 木本の生育が最も良好(渡良瀬川)<br/>砂質土使用--- 浸食により、導入種の生育が不良である。<br/>(新庄1cm厚)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・積雪寒冷地(新庄)においても吹付基盤は全く浸食を受けておらず、耐浸食性は最大である。</li> </ul>                |
| 備考                                                  |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                             |                                                                                                              |

表－２・８ 植生工種別の傾向（在来草本＋木本） 倉吉（法面）

|       | 種子散布工                                                                                                                                                                                          | 客土種子吹付工                                   |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 発芽の状況 | ・ハギ類木本、カバノキ科木本<br>双方の発芽が良好である。                                                                                                                                                                 | ・ハギ類木本の発芽は良好である<br>がカバノキ科木本の発芽は不良<br>である。 |
| 生育の状況 | ・施工２年後には、草本、木本共<br>に大型化、植生被覆は全面的と<br>なる。                                                                                                                                                       | ・同左                                       |
| 備 考   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・両工種の植生の差異はほとんどないと言ってよい。</li> <li>・客土種子吹付工でカバノキ科木本の発芽が不良であるのは（１㎡当りの播種量は同一であるのに）、種子が吹付基盤内に埋設したためであると考えられる。カバノキ科木本は種子粒径が小さいため厚い覆土の下からの発芽ができない。</li> </ul> |                                           |

表－２・９ 植生工種別の傾向（外来草本のみ）

|             | 宮 崎 ３ 種 配 合                                                                                                             |                                                                                                                           | 吉 野 川                                                                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | 種子散布工                                                                                                                   | 客土種子吹付工2cm厚                                                                                                               | わらむしろ張工                                                                                                           |
| 外来草本<br>の生育 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ WLGの草丈 92cm</li> <li>・ K31の草丈 55cm</li> <li>・ 植生被覆率 95%<br/>（施工２年後）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ WLGの草丈 92cm</li> <li>・ K31Fの草丈 75cm</li> <li>・ 植生被覆率 100%<br/>（施工２年後）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法面の方位により生育が異なる。</li> <li>・ 施工２年後の植生被覆<br/>北向き 85%<br/>南向き 40%</li> </ul> |
| 備 考         | 両工種の差異は小さいが、客土種子吹付工の方が外来草本の生育は良好である。                                                                                    |                                                                                                                           |                                                                                                                   |

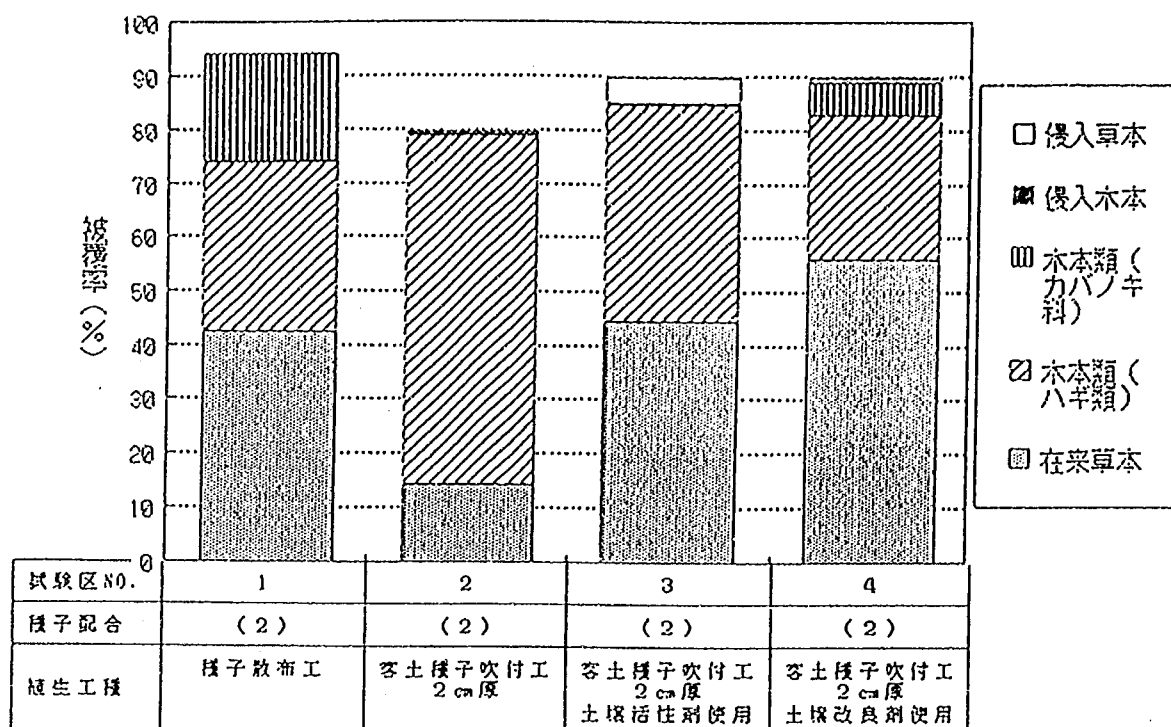


図-2・3・1 工種別の比較 (倉吉) 被覆率 (10㎡コドラート)

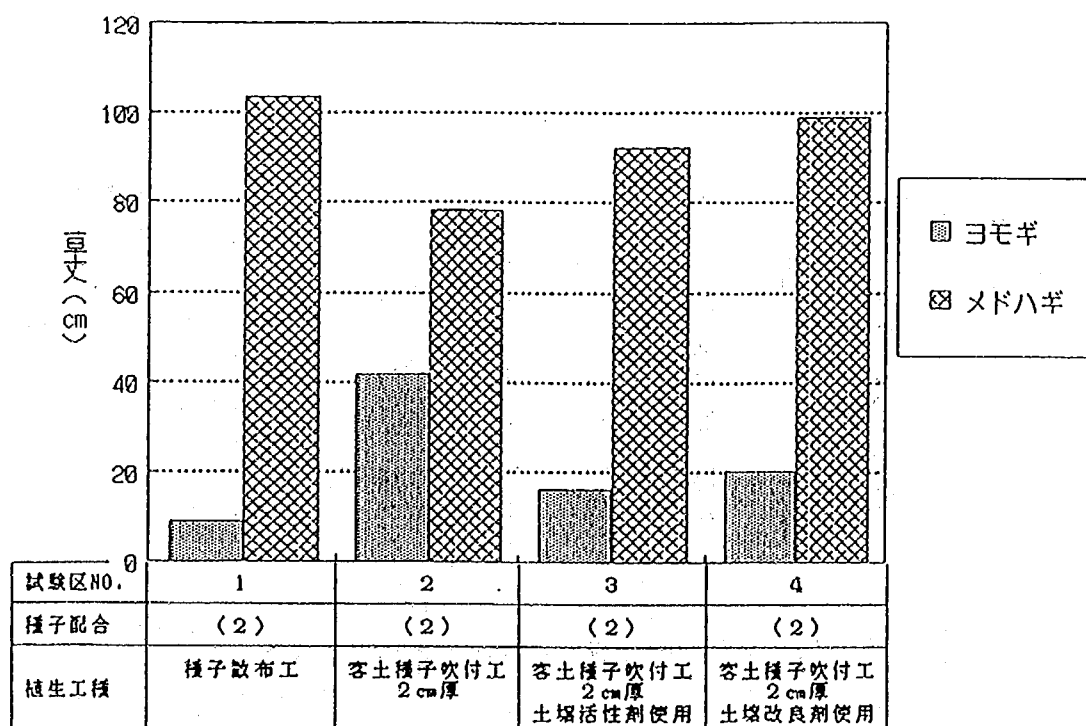


図-2・3・2 工種別の比較 (倉吉) 草丈 (1㎡コドラート)

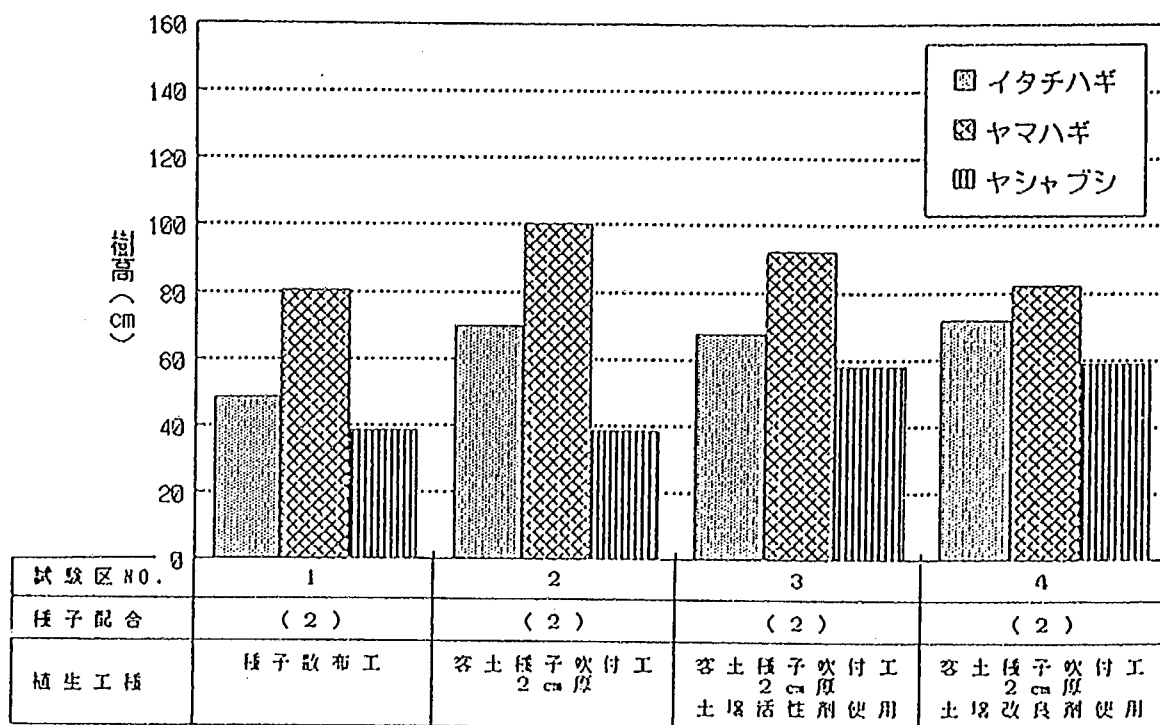


図-2・3・3 工種別の比較 (倉吉) 樹高 (10 m<sup>2</sup>コドラート)

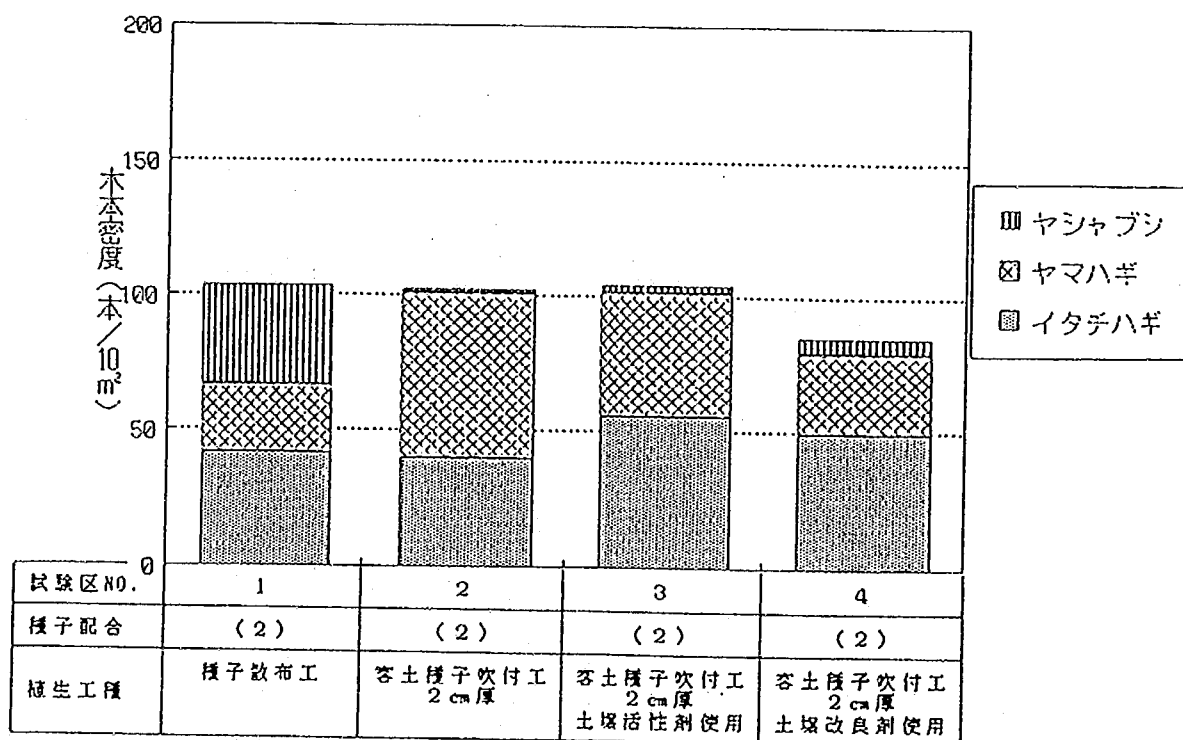


図-2・3・4 工種別の比較 (倉吉) 木本密度 (10 m<sup>2</sup>コドラート)

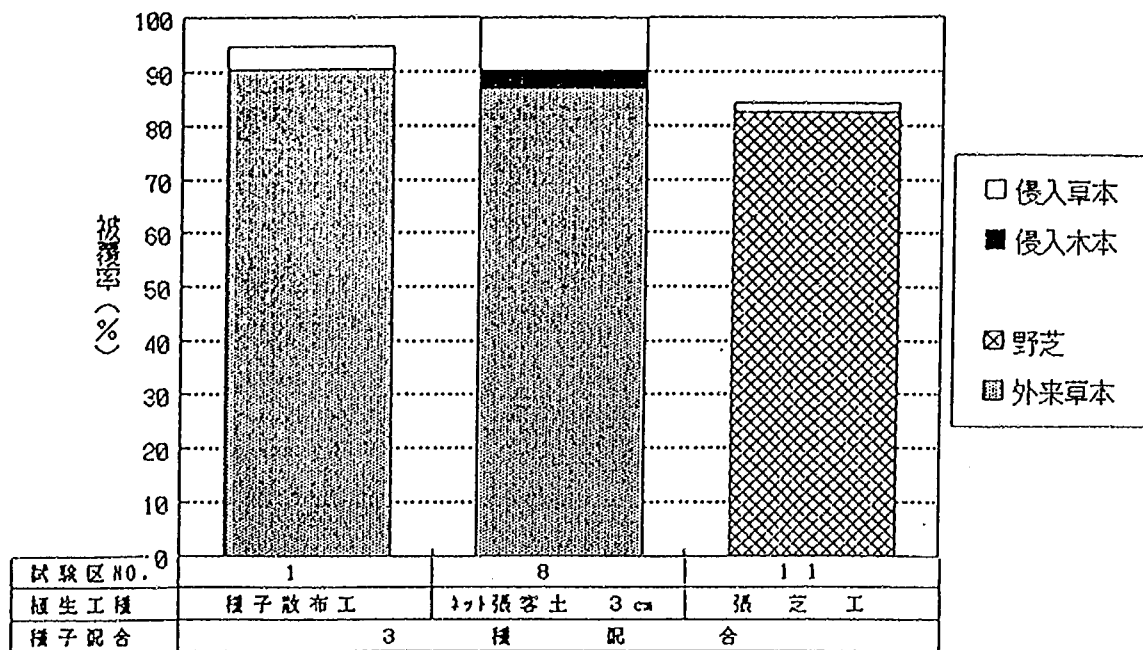


図-2・3・5 工種別の比較(宮崎) 被覆率(10㎡コドラート)

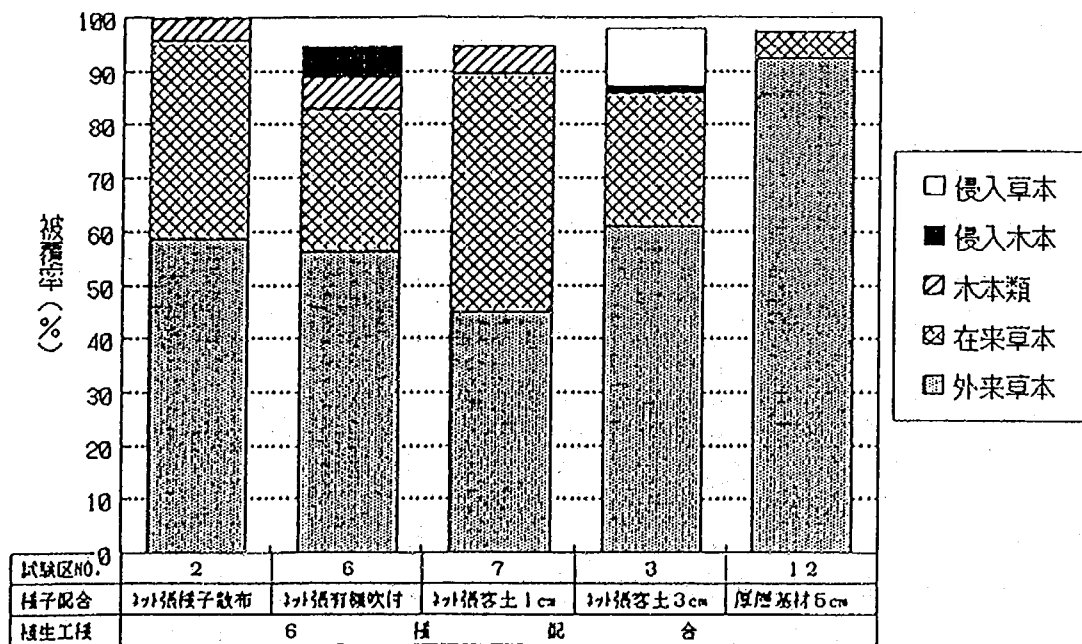


図-2・3・6 工種別の比較(宮崎) 被覆率(10㎡コドラート)

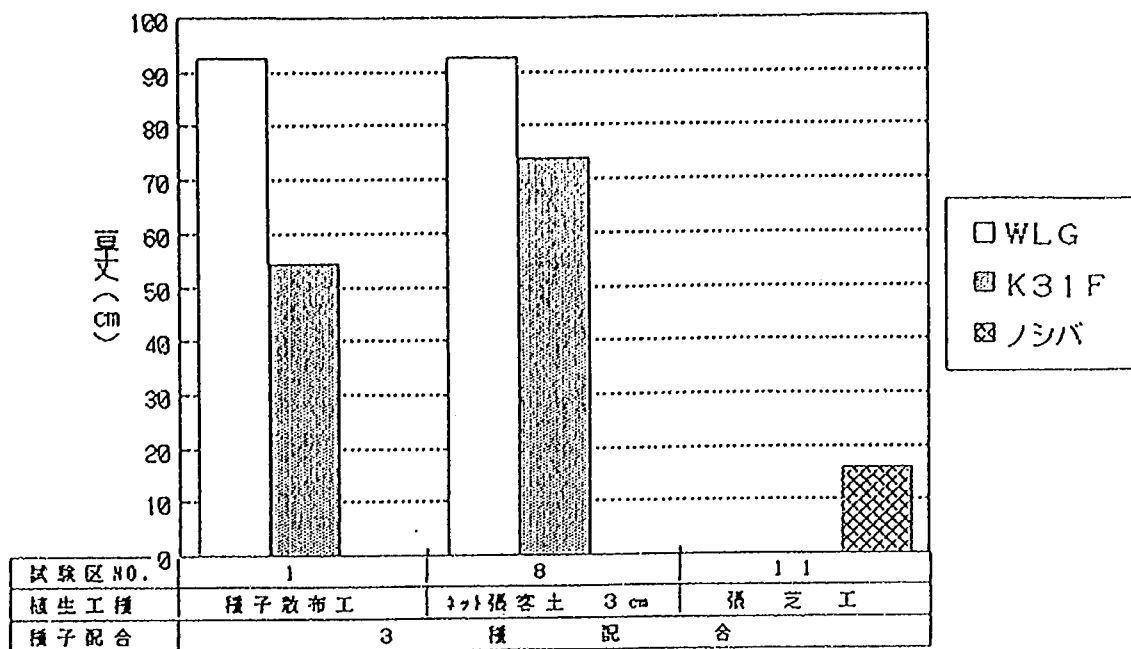


図-2・3・7 工種別の比較(宮崎) 草丈・樹高(10㎡コドラート)

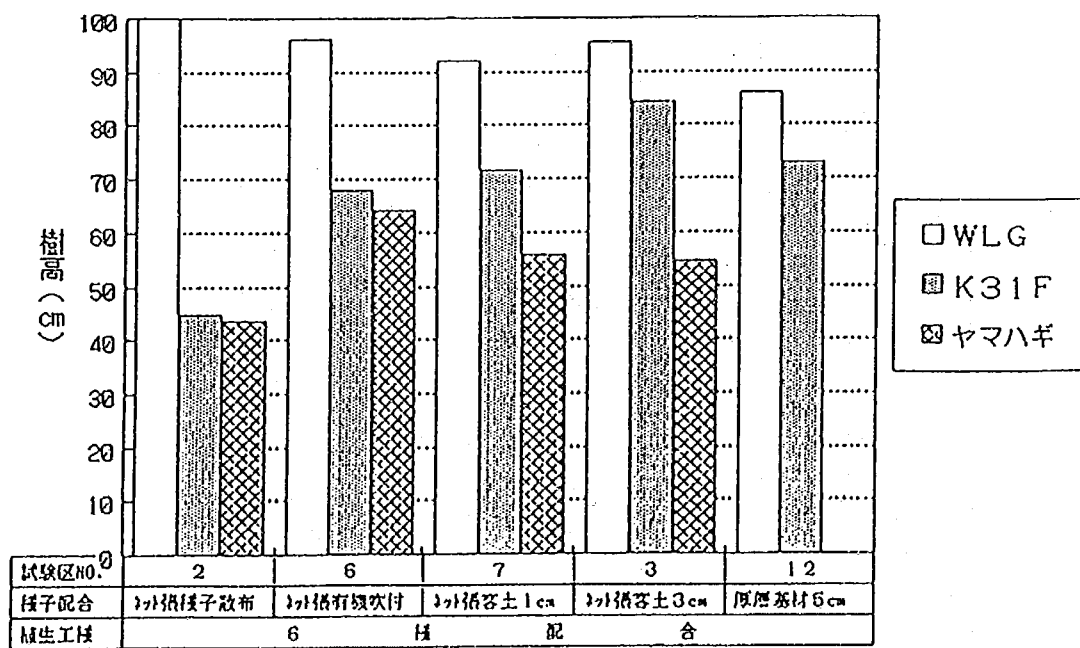


図-2・3・8 工種別の比較(宮崎) 草丈・樹高(10㎡コドラート)

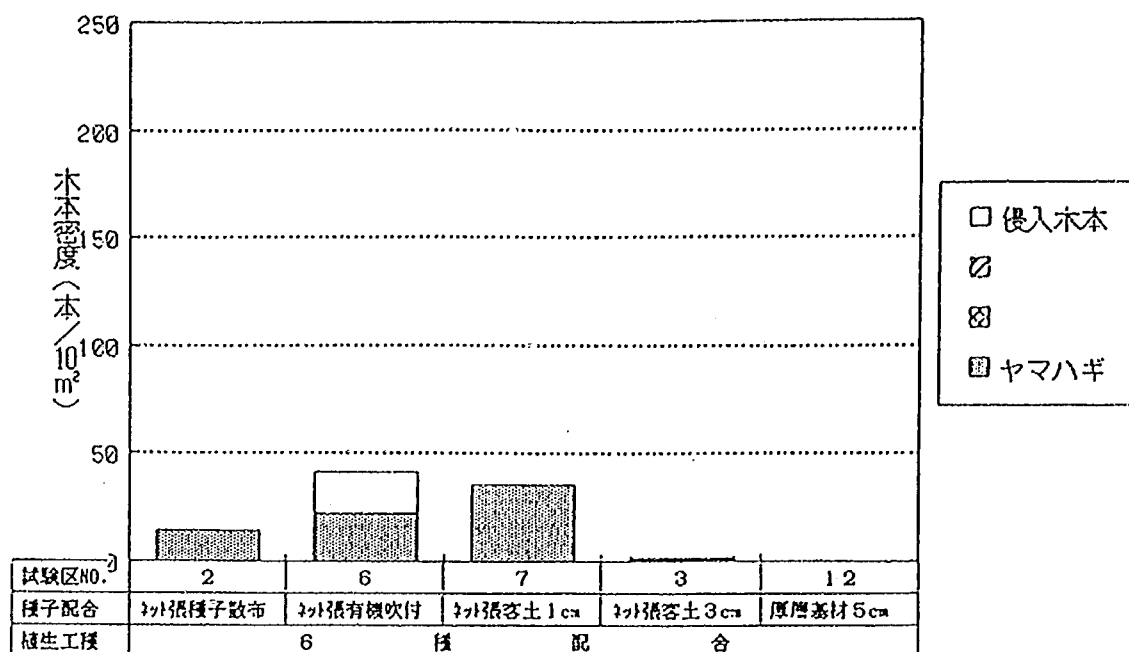


図-2・3・9 工種別の比較 (宮崎) 本木密度 (10m<sup>2</sup>コドラート)

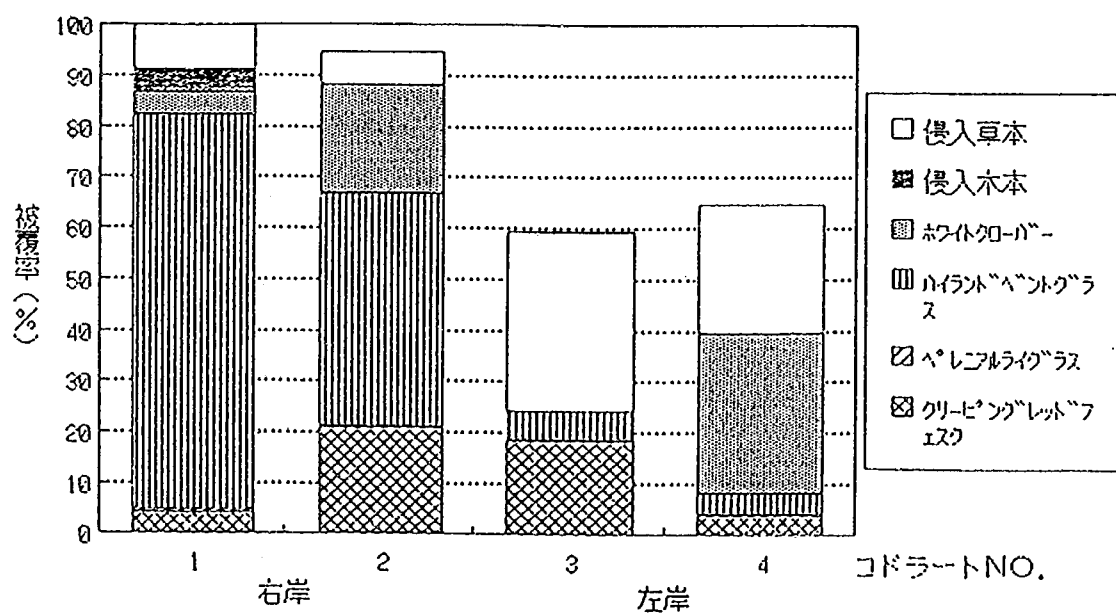


図-2・3・10 被覆率の比較 (吉野川) (10m<sup>2</sup>コドラート)

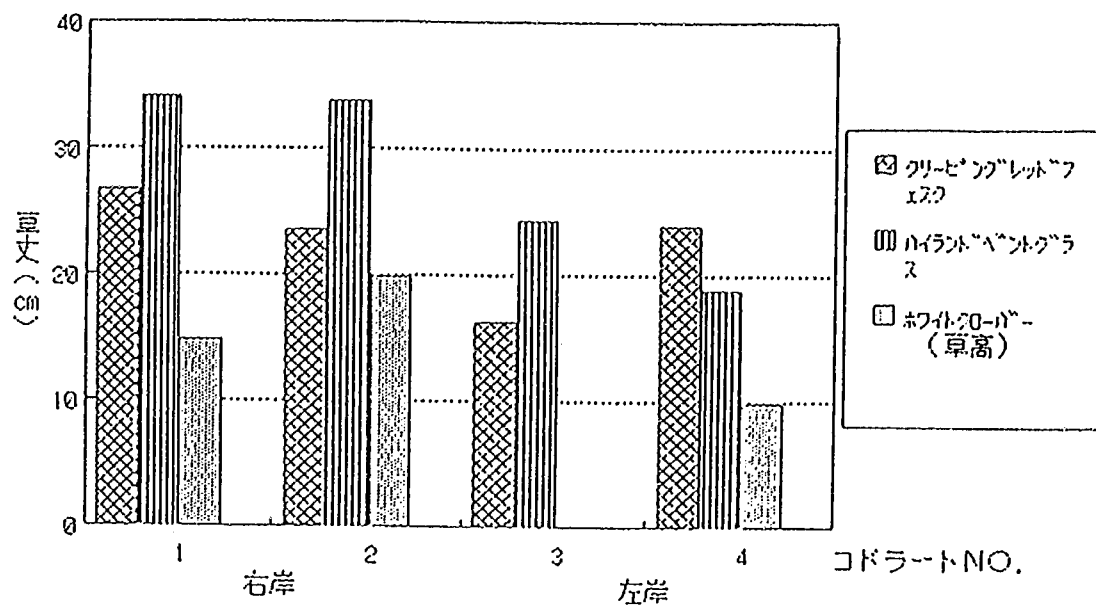


図-2・3・11 草丈の比較 (吉野川) (10㎡コードラート)

## 2.3.2 各植生工種の特徴についてのまとめ

### 1) 種子散布工

種子散布工では、外来草本の生育は最も劣り、施工2年後には衰退の傾向にある。しかし、このためにかえって木本類の成立しやすい状況となっており、木本を播種した試験区では、成立木数の大小はあるものの発芽した木本の多くは順調に生育している。一方、種子散布工は他の工種に比較して各試験地間で植生の較差が大きく、確実性の面でやや劣ると考えられたが、具体的には次のような問題があった。

- ・施工時期を誤れば、基材の流失により、導入植物の成立が著しく不良となる。（新圧、11月施工）
- ・地山が軟質であり水分条件が良好である等好条件の地山（宮崎）に施工された場合は導入種の生育は良好であるが、硬質であったり、あるいは乾燥しやすい地山では生育は不良となりやすい。（渡良瀬川の一部）

種子散布工は、吹付基盤がないため、雨水によって吹付基材が流失しやすく、また地山が直接発芽床や生育基盤となるために地山の状況（土質、土壌硬度、勾配等）により、成立する植生が大きく左右されると考えられる。

### 2) 客土種子吹付工

客土種子吹付工では、草本類と木本類が混生した群落となり、目標とした植生が成立している試験区が多い。外来草本の生育は種子散布工よりは良好であるが、密生して木本類を被圧するようなことはなく、発芽した木本の多くは順調に生育している。

吹付厚さは1cmから5cmの範囲で行われているが、1cm厚は種子散布工に植生が類似し、吹付厚が厚くなる程厚層基材吹付工に植生が類似している。

また、使用材料に有機質を用いたものは（新圧2cm、宮崎）砂質土を用いたもの（新圧1cm、倉吉の法面）、黒ボクを用いたもの（渡良瀬川）に比較して外来草本が優勢となりやすい性質があった。

### 3) 厚層基材吹付工

厚層基材吹付工には、全ての試験区で外来草本が密生した植生となり、このために在来草本や木本類は被圧されて生育が不良となっている。このため、在来草本や木本類の導入の可否が検証できていない。今回の試験結果から判明した当工法の特徴は、次の点である。

- ・外来草本の生育が極めて良好であり、外来草本の期待発生本数が1,400本/㎡以上では、外来草本の密生した植生となり、この状態は継続する。
- ・耐浸食性は最大であり、積雪寒冷地の冬期においても十分な耐浸食性を有する。
- ・木本の発芽は、ハギ類では良好であるが、カバノキ科木本では不良である。

### 4) 客土工（25cm厚）+種子散布工（倉吉工事）

堤体天端の緩傾斜地に25cm厚の客土（黒ボク）を施し、その上から種子散布工（在来草本+木本類）を

行ったものである。

当工種では、特に木本類の生育が良好となっている。当地区の法面に施工した種子散布工や客土種子吹付工での木本類の樹高は施工2年後でせいぜい50～60cmであるのに対し、当工種では、カバノキ科木本の樹高は150から200cm、ハギ類木本の樹高でも100cmに達している。このように、当工種で木本類の生育が良好であるのは、良質な客土を十分な厚さで施したことにより、木本の根系の発達が容易であることや、水分条件が良好となっているためであることが考えられる。

#### 5) 樹木植栽工(倉吉工事)

堤体天端の礫交り土に植穴を掘削し、4種の樹木苗木を植え込み、施肥したものである。樹木は、ダイヤモンドキャボク、ナナカマド、イタヤカエデ、ブナを使用している。

植栽された樹木はいずれも生育は不良で、枯死も発生しており、年々衰退していく傾向にある。この原因は、植栽樹木の根の活着の不良、及び養分不足によると考えられる。一般に植栽した樹木は播種で導入した樹木に比較して根系の発育が不良であり、このために客土等による土壌条件の整備や植栽木の保護、管理が必要である。当試験区のような簡易な方式では、苗木植栽による樹木の導入は困難であると考えられる。

#### 6) 張芝工(宮崎工事)

野芝を法面全面に張り付け、目申で固定したものである。施工時から2年後まで植生の状況はほとんど変化がなく、浸食の発生等の問題も生じておらず、法面保護の目的は果たしているといえる。但し、当試験地では、種子散布工の植生被覆が全面的であることから推測できるように、試験法面の立地条件が植生にとって良好であり、法面保護上の問題の少ない法面であったことに留意しておくべきであろう。

#### 7) わらむしろ張工(吉野川工事)

種子、肥料を散布させた紙をわらむしろに張り合わせ、これを地山に設置したものである。地山に付着した基材の形態としては種子散布工に近いといえることができる。

当施工地では、北向き法面で外来草本の生育が良好で植生被覆が全面的であるのに対し、南向き法面では外来草本の生育は不良であり、植生被覆は約40%であった。双方の法面共に浸食の問題は発生していないが、外来草本だけを使用した場合は、施工地の立地条件に従った単一な植生になりやすく、立地条件によっては、当地の南向き法面のように、裸地が発生し浸食が生じやすい状況になることもあると言える。このような危険を軽減するためには、乾燥ややせ地によく耐えるマメ科の在来草本であるメドハギや、マメ科やカバノキ科の木本類の導入を図ることが有効であると考えられる。

## 2. 4 吹付厚さ別の傾向

吹付厚さ別の植生の傾向をみるためには、同一の法面（地質等の立地条件も同様な箇所）、同一の（または類似した）種子配合、同一の吹付材料で、比較する必要があり、比較可能な試験区は下表に示すものに限られる。

表-2・10 吹付厚さの比較

| 試験地 \ 工種 | 客土種子吹付工                  | 厚層基材吹付工                        | 種子配合          |
|----------|--------------------------|--------------------------------|---------------|
| 渡良瀬川     | 1, 2, 3, 5cm厚<br>(黒ボク使用) | 3, 5, 7, 10cm<br>(砂質土+有機質基材使用) | 外来草本+在来草本+木本類 |
| 宮 崎      | 1, 3cm厚<br>(有機質基材使用)     | 5cm厚<br>(有機質基材使用)              | 同 上           |

新庄では、客土種子吹付工に1cmと2cmを設定しているが、1cm厚では砂質土を2cm厚では有機質基材を使用しており、比較できない。一方、宮崎工事の客土種子吹付工と厚層基材吹付工では、共に有機質基材を使用し施工方式も同様（モルタルガンで吹付）であるため、同一の工種として吹付厚さの比較が可能と考えられる。従って渡良瀬川では、客土種子吹付工（1～5cm厚）、厚層基材吹付工（3～10cm厚）、宮崎では、客土種子吹付工（1, 3cm）に厚層基材吹付工（5cm厚）を加え、比較する。

図-2・4・1～図-2・4・7に、施工2年後の10㎡コドラードで測定した被覆率、草丈、樹高、木本密度を比較したグラフを示し、考察する。

### 2. 4. 1 客土種子吹付工、吹付厚さ別の傾向

宮崎では厚層基材吹付工5cm厚も加えて吹付厚さ別の植生の傾向を比較すると、次のような傾向が認められる。

- ・吹付厚さが厚くなる程外来草本の生育が良好で、厚い程被覆率が大きくなり、5cm厚では外来草本主体の植生となっている。草丈は吹付厚さによる差異は小さい。
- ・在来草本や木本類の生育は、外来草本の生育と反比例的であり、外来草本の被覆の大きい工区程生育が不良となる傾向がある。但し、渡良瀬川では木本類は2, 3cm厚で樹高、密度ともに最大であり、1cmでは木本類の生育はやや劣る傾向があった。

渡良瀬川の2, 3cmで木本類の生育が良好であるのは、当地区では、3cm厚さまでは外来草本の被覆は木

本類を被圧する程度までに至っていないためであると考えられる。このような外来草本の被圧のない状況下では、客土厚が厚い方が木本の生育には有利であると考えられる。このことは、倉吉で25cm厚の客土を施した工区で木本の生育が極めて旺盛であったことから推測可能である。

#### 2.4.2 厚層基材吹付工、吹付厚さ別の傾向

厚層基材吹付工における吹付厚さの比較は、渡良瀬川だけで行われている。

図一2・4・1によれば、吹付厚さによる植生の差異はほとんど無く、すべて外来草本が優占した植生状況になっている。また、木本類の生育はほとんど見られない。当地区では地山が軟質であり傾斜も緩く、吹厚が最低の3cm厚でも十分な植生被覆が可能であったことや、外来草本の播種量がこの条件下では多すぎたこと等のために、吹付厚さによる植生の差異が現れなかったものと考えられる。

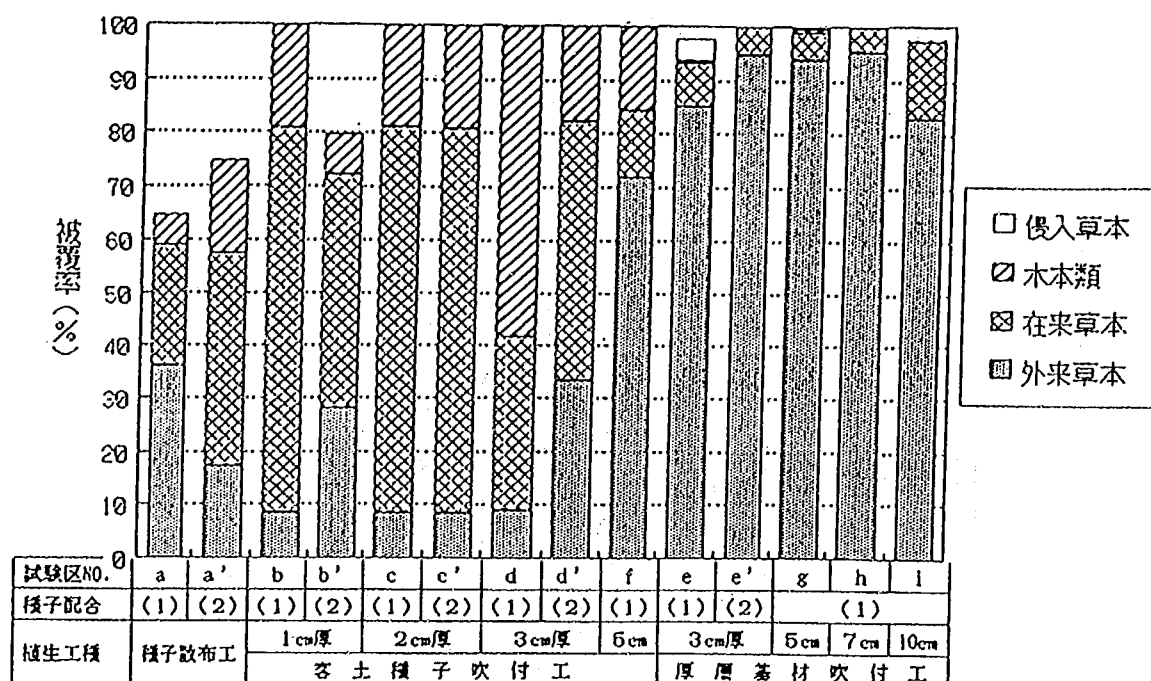


図-2・4・1 工種別の比較（渡良瀬） 被覆率（10㎡コドラート）

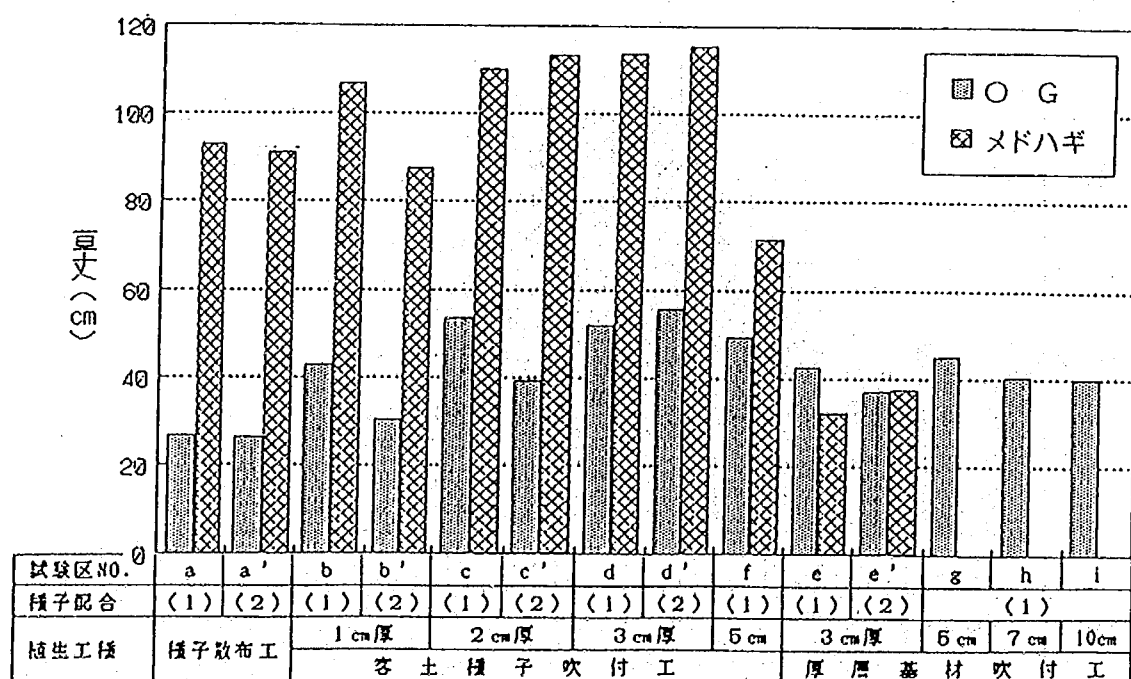


図-2・4・2 工種別の比較（渡良瀬） 草丈（1㎡コドラート）

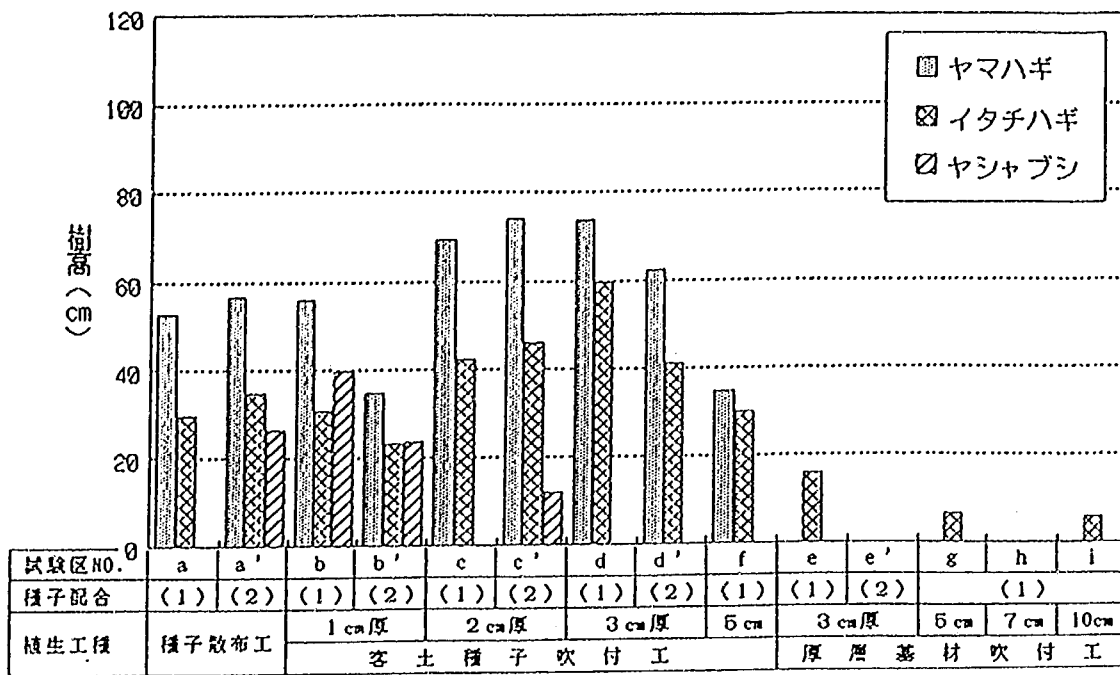


図-2・4・3 工種別の比較 (渡良瀬) 樹高 (10m<sup>2</sup>コドラート)

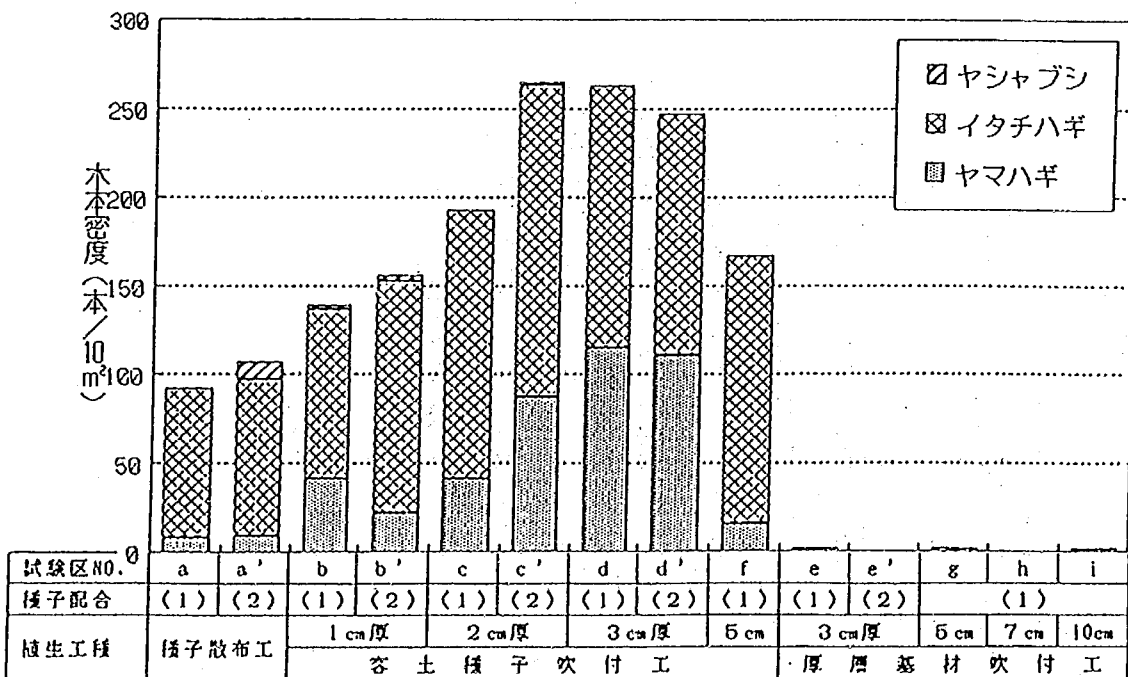


図-2・4・4 工種別の比較 (渡良瀬) 木本密度 (10m<sup>2</sup>コドラート)

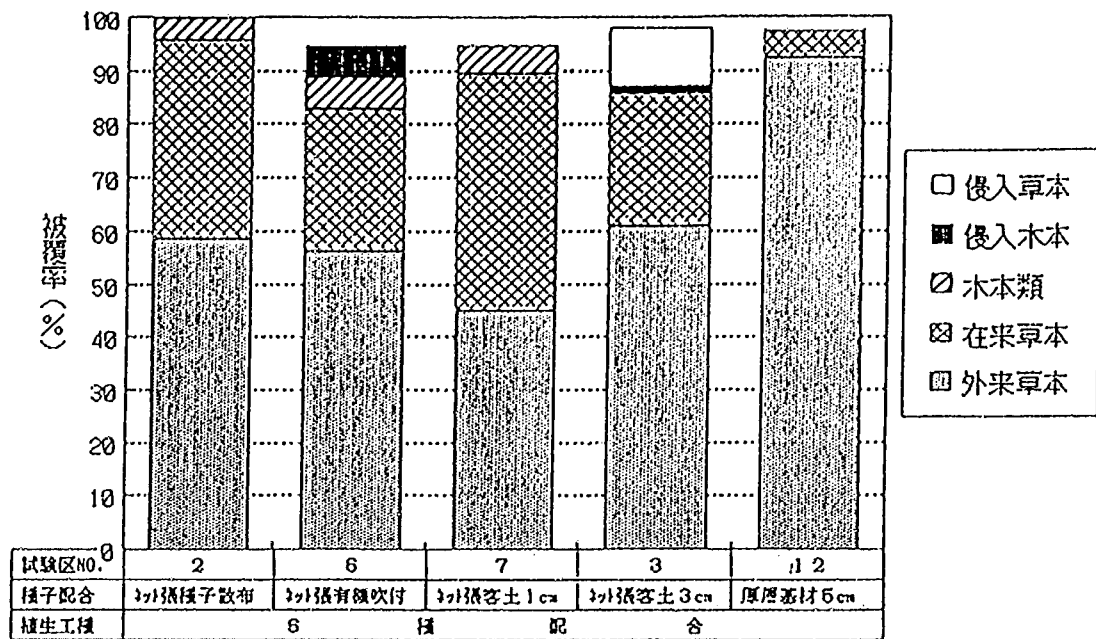


図-2・4・5 工種別の比較(宮崎) 被覆率(10㎡コドラート)

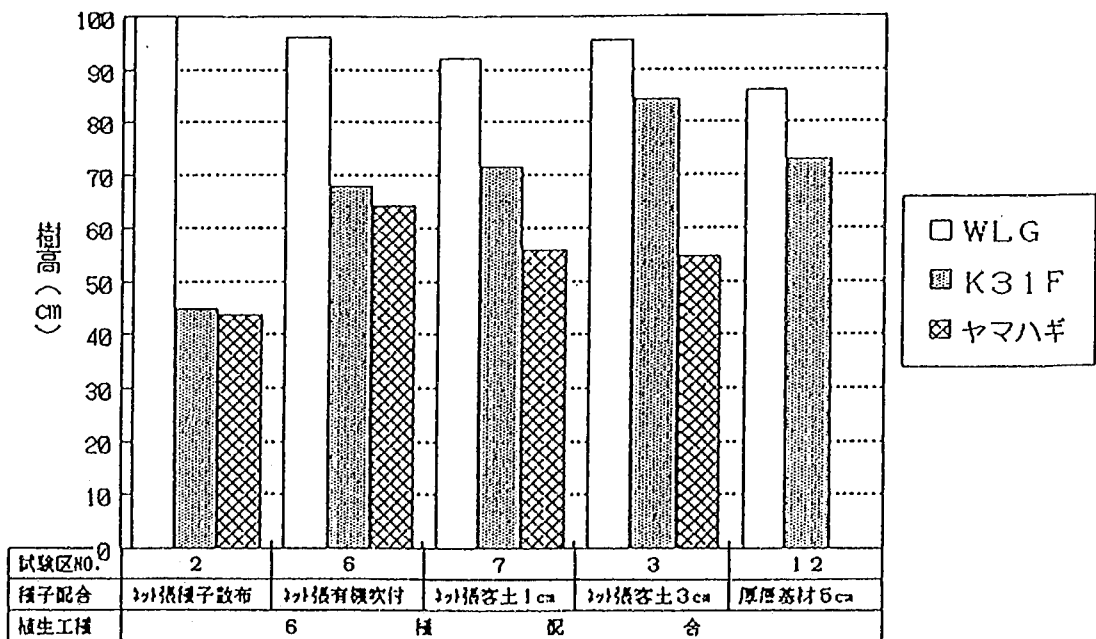


図-2・4・6 工種別の比較(宮崎) 草丈・樹高(10㎡コドラート)

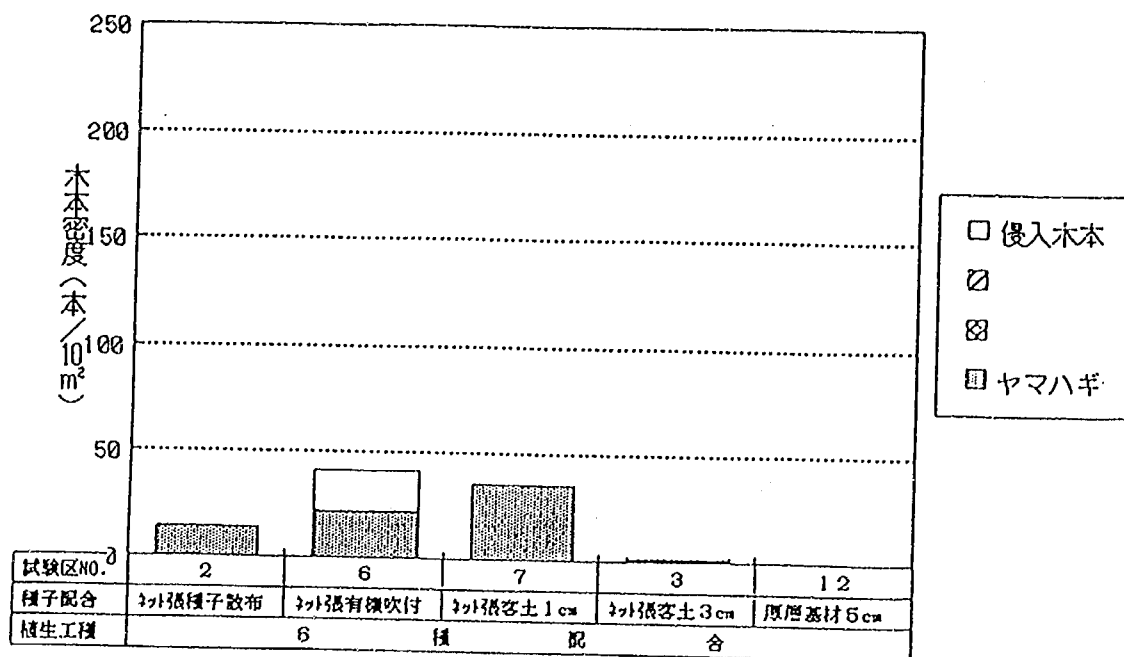


図-2・4・7 工種別の比較(宮崎) 木本密度(10m<sup>2</sup>コドラート)

## 2. 5 吹付に用いる材料別（土壌、有機質等）の傾向

客土種子吹付工の吹付材料別の植生状況の比較は、異なった地区同志を比較することになるが、各地区では法面の立地条件（土質、水分条件等）、種子配合、施工時期が異なる。これらの条件は全て成立する植生を大きく左右するものであり、このため材料別に成立した植生を比較した場合、その植生の差異を単純に材料の差によるものに特定できない。このような問題があるため、材料別の植生状況を横並べに比較して認められた植生の差異が材料の相違によるものかどうかを検証しながら比較を行うものとする。

次表に比較する材料と種子配合を示し、図-2・5・1～図-2・5・7には被覆率（施工2年後）、発芽効率（最大時）、樹高（施工2年後）を横並べに比較する。

表-2・11 比較する材料と種子配合（客土種子吹付工2cm厚）

| 材 料 名                      | 施工地  | 試験区<br>NO. | 期待発生根数（本/㎡） |       |       | 備 考                    |
|----------------------------|------|------------|-------------|-------|-------|------------------------|
|                            |      |            | 外来草本        | 在来草本  | 木本類   |                        |
| 有 機 質<br>(ハーク堆肥<br>+ピートモス) | 新 庄  | 9          | 1,812       | 1,248 | 826   |                        |
|                            | 宮 崎  | 9          | 2,810       | 3,200 | 840   |                        |
|                            |      | 10         | 1,400       | 1,330 | 840   |                        |
| 黒 ボ ク                      | 渡良瀬川 | C          | 1,490       | 1,330 | 480   |                        |
|                            |      | C'         | 2,740       | 2,650 | 480   |                        |
| 砂 質 土                      | 倉 吉  | 2          | --          | 3,420 | 8,692 | 木本類のうちシラカバ<br>7,620本/㎡ |
|                            |      | 3          | --          | //    | //    |                        |
|                            |      | 4          | --          | //    | //    |                        |

### 1) 外来草本の生育の比較

図-2・5・1によれば、外来草本の生育を有機質と黒ボクで比較すると（砂質土=倉吉は外来草本を用いていない）、有機質で外来草本が優勢である。

また、植生の推移（2.1節）で検証したように、新庄、宮崎の有機質基材使用の3cm厚では外来草本の密生した植生となっており、渡良瀬川の客土種子吹付工3cm厚（黒ボク）では在来草本や木本が主体となっていることと比較すると、明らかに有機質の方が外来草本の生育が優勢となる傾向がある。

## 2) 木本の発芽の比較

図一2・5・3、図一2・5・4において、ハギ類木本とカバノキ科木本の発芽効率を比較すると、双方共に有機質で発芽効率が高い傾向にある。しかし、この場合の発芽効率は、3回の調査のうちで密度が最大であった時の発芽数の播種粒数に対する割合であり、施工時期や調査時期が大きく異なるこれらの試験地を横並びに比較することはできない。従って、ここで言えることは、各材料共にハギ類、カバノキ科木本の発芽は可能である、ということにとどまる。また有機質では、施工2年後にはカバノキ科木本が全く成立していないが、当試験地の有機質では、発芽の問題は少なかった事は明らかである。

## 3) 木本の生育の比較

被覆率と樹高の横並びの比較図において、木本の被覆率、樹高は、共に砂質土が最大で、黒ボク、有機質の順に劣る傾向がある。また、ヤシヤブシは有機質では全く生育していない。この傾向は、外来草本の生育の良否に反比例しており、木本は外来草本による被圧の大小にその生育が左右されたものと考えられる。従って、材料本来の各木本に対する適性はここでは検証できないと考えられる。

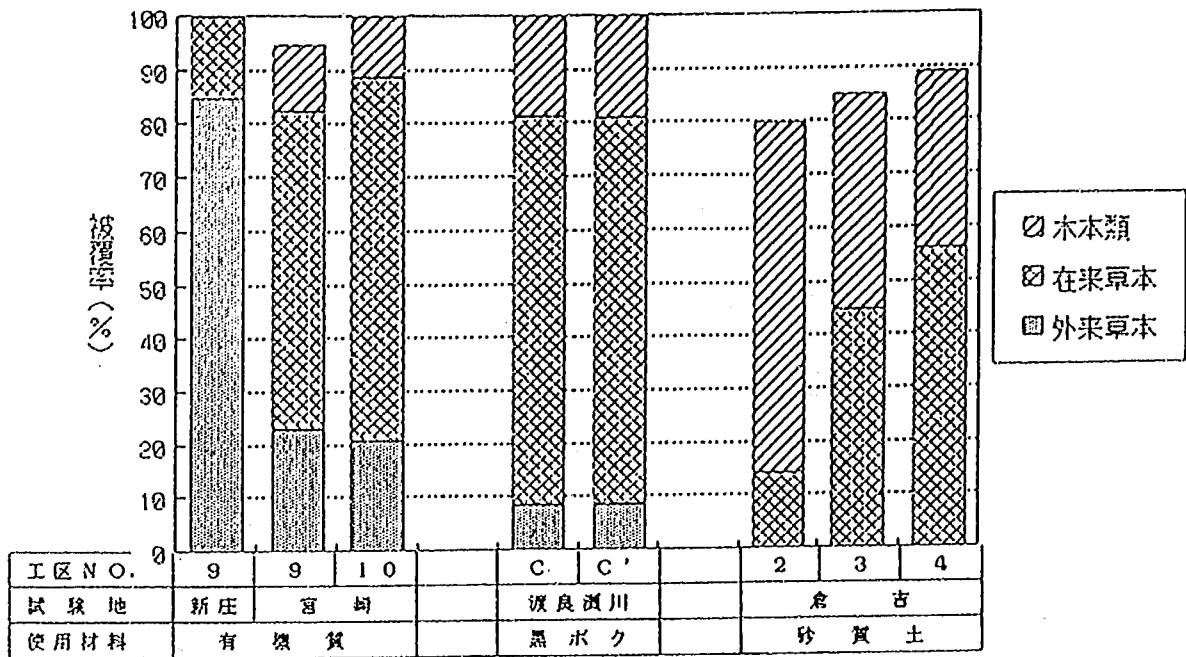


図-2・5・1 客土吹付工材料別の比較 被覆率 (10㎡コドラート)

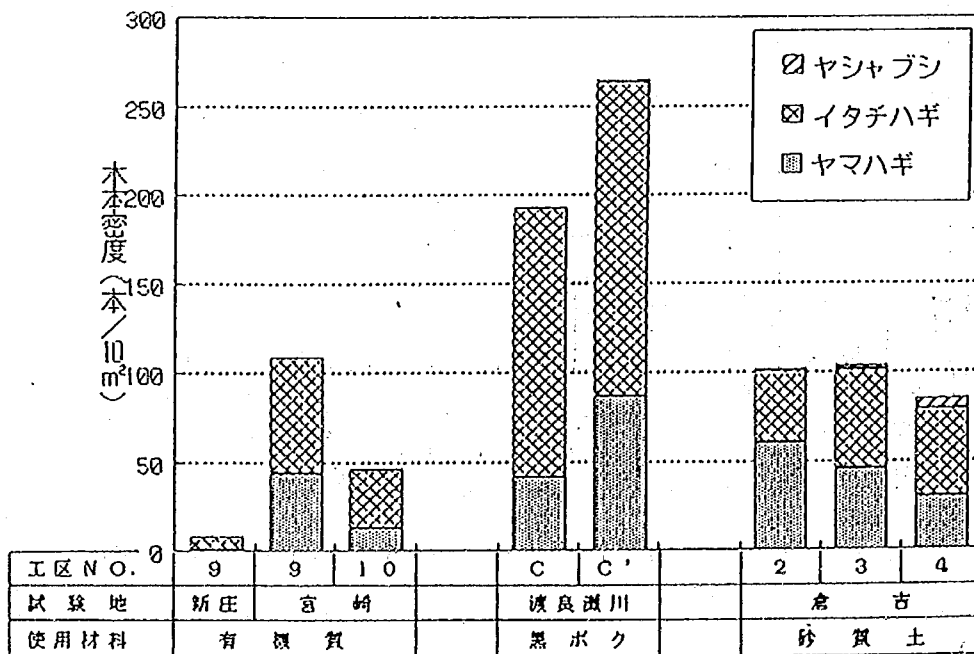


図-2・5・2 客土吹付工材料別の比較 木本密度 (10㎡コドラート)

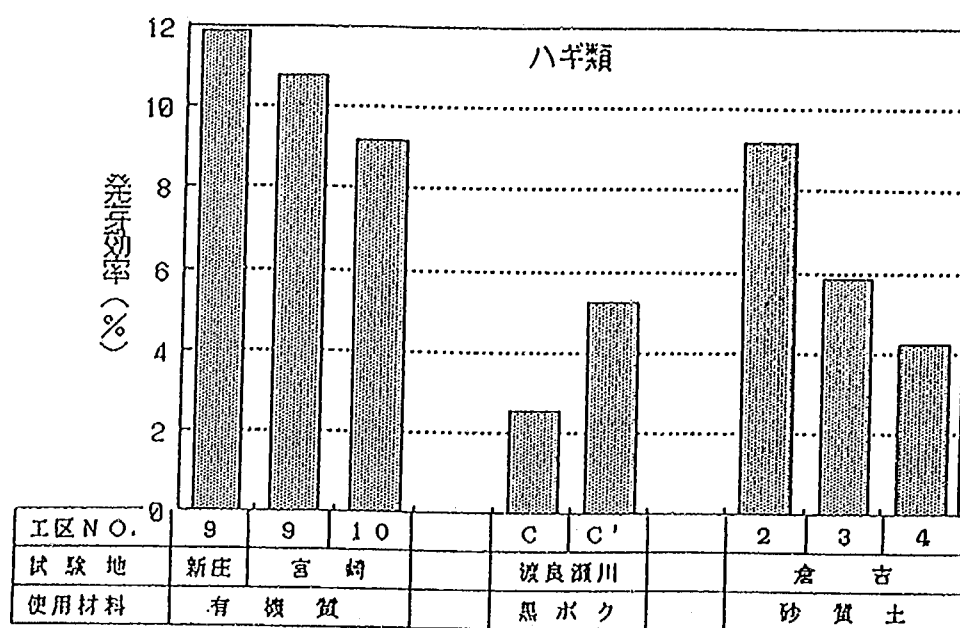


図-2・5・3 客土吹付工材料別の比較 発芽効率 (1 m<sup>2</sup>コドラート)

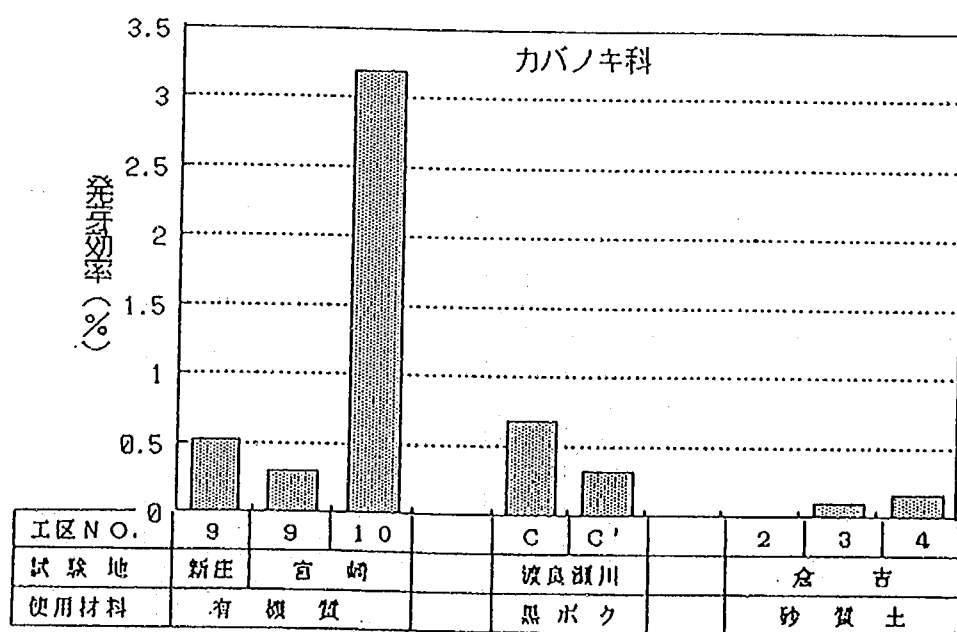


図-2・5・4 客土吹付工材料別の比較 発芽効率 (1 m<sup>2</sup>コドラート)

※発芽効率 = 3年間の内の最大密度 (本/m<sup>2</sup>) / 播種粒数 (粒/m<sup>2</sup>)

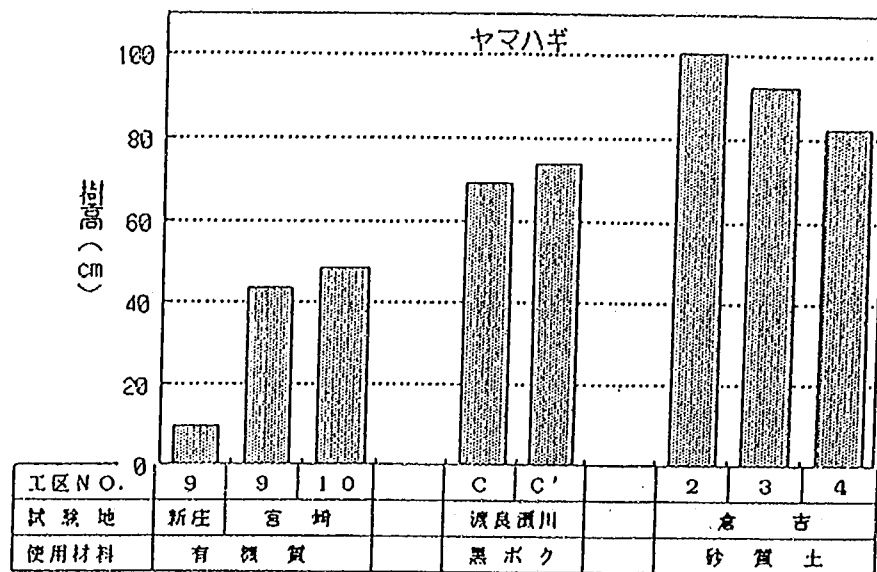


図-2・5・5 客土吹付工材料別の比較 樹高(10m<sup>2</sup>コドラート)

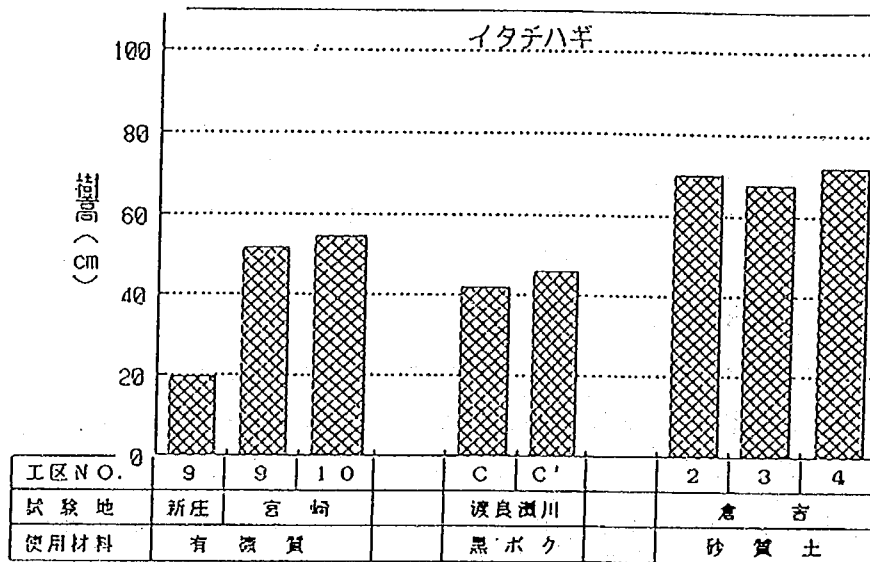


図-2・5・6 客土吹付工材料別の比較 樹高(10m<sup>2</sup>コドラート)

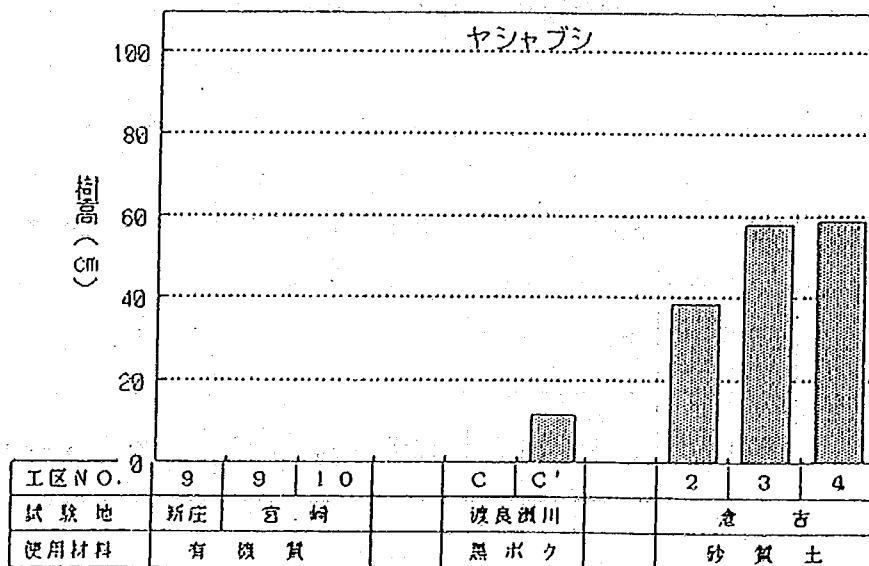


図-2・5・7 客土吹付工材料別の比較 樹高(10m<sup>2</sup>コドラート)

## 2.6 肥料別の傾向

各施工地で使用している肥料は下表のごとくである。種子散布工は全て高度化成肥料を用いており、客土種子吹付工と厚層基材吹付工基材吹付工では地区毎に肥料は異なるが、同時に使用基材も異なっている。また、施工地により、施工時期や地山の状況等が異なるため、これらの試験区での植生の相違を肥料の相違によるものに特定できない。従って、各試験地の結果から肥料別の植生の傾向を見い出すことは困難である。

表-2.12 各試験地での肥料の比較

| 植 生 工 程 | 試 験 地 | 肥 料 名  | 規 格              | 備 考          |
|---------|-------|--------|------------------|--------------|
| 種子散布工   | 新庄    | 高度化成肥料 | N:P:K = 15:15:15 | 施工時期 11月     |
|         | 渡良瀬川  | //     | //               | // 8月        |
|         | 倉吉    | //     | //               | // 7月        |
|         | 宮崎    | //     | //               | // 6月        |
| 客土種子吹付工 | 新庄    | 緩効性肥料  | N:P:K = 10:10:10 | 使用基材砂質土、有機質  |
|         | 渡良瀬川  | 複合肥料   |                  | // 黒ボク       |
|         | 倉吉    | 緩効性肥料  | N:P:K = 10:10:10 | // 砂質土       |
|         | 宮崎    | //     | //               | // 有機質       |
| 厚層基材吹付工 | 新庄    | 高度化成肥料 | N:P:K = 15:15:15 | // 有機質       |
|         | 渡良瀬川  | 複合セッター |                  | 使用基材 砂質土+有機質 |
|         | 宮崎    | 高度化成肥料 | N:P:K = 15:15:15 | // 有機質       |

## 2. 7 施工時期別の傾向

各試験地の施工時期は、6月（宮崎）、7月（倉吉）、8月（渡良瀬川）、11月（新庄）に渡っているが、各試験地毎に試験区の立地条件や種子配合、使用材料が異なるために、各地区の植生の相違を単純に施工時期の相違によるものに特定できない。しかし、中でも新庄と宮崎の種子散布工、客土種子吹付工（2cm厚）は、使用材料（肥料、基材）が同一であり、かつ種子配合、施工地の立地条件が類似しているため、施工時期の相違による植生状況を比較可能と考えられる。これらの試験区の植生推移を表一2・13にまとめ考察する。

宮崎（6月施工）と新庄（11月施工）の植生状況の相違は次の2点に要約できる。

①11月施工の新庄では、種子散布工の吹付材料の大部分が冬期の浸食のために失われており、このため導入種の生育は不良である。

②宮崎、新庄共に在来草本やハギ類木本は多数発芽している。しかし、新庄では外来草本が密生したために在来草本や木本は被圧されて生育不良となっており、これに対し宮崎では在来草本や木本類の成長が良好であり、外来草本を上回って生育している。

上記①については、新庄の客土種子吹付工1cm厚でも同様であり、このことから、寒冷地で秋期に施工する場合は冬期間に浸食の問題が発生しやすく、緑化の確実性は劣るといえる。

②について新庄で外来草本が優占した理由は次のように考えられる。

外来草本は寒地型の種を導入しているが、これら外来草本は在来草本や木本類よりも低い温度で発芽、生育が可能であり、また成長も急速であるため、春先の早い時期から外来草本が優占し、その後気温の上昇に伴って発芽した在来草本や木本は被圧されることになったと推測される。秋施工では春施工よりも外来草本が優勢になりやすいことは、実際の施工地においても散見されることである。

以上の事から、6月施工と11月施工の比較では、6月施工の方が基材が浸食される危険は少なく、また在来草本や木本類の生育は施工初期から良好であり、これら植物を導入できる確実性は高いという事が結論付けられる。

やむを得ず秋期または冬期に施工せざるを得ない場合は、耐浸食性の高い有機質系客土種子吹付工又は厚層基材吹付工を用い、外来草本の播種量等に注意し外来草本の密生を防ぐ対策を講ずることが必要であると考えられる。

表-2・13 施工時期別の植生推移の差

| 植生工種            | 試験地                   | 施工内容                                                                            | 施工当年の植生状況               | 施工翌年の植生状況                                         | 施工2年後の植生状況                                                             |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 種子散布工           | 宮崎<br>6月施工<br>(9種配合)  | 種子配合<br>外来草本+在来草本+木本<br>外来草本、期待発生本数<br>1,400~2,800本<br>木本(ハギ類、カバノキ科)<br>840本    | 外来草本が優占するが、在来草本、木本も発芽   | 前年と同様の植生状況、木本はやや大型化                               | 木本が急速に大型化し植生被覆は増大。<br>木本群落が形成されつつある。                                   |
|                 | 新庄<br>11月施工<br>(①③配合) | 種子配合<br>外来草本+在来草本+木本<br>期待発生本数<br>外来草本<br>1,800~3,220本<br>木本(ハギ類、カバノキ科)<br>820本 | 無植生                     | 基材は浸食を受け、部分的に外来草本が生育する。<br>ススキ、タニウツギ<br>等の侵入種が目立つ | 外来草本は衰退化傾向にあるが、木本類は密度は低いが、大型化して生育している。<br>ススキ、イタチハギ、イタドリ等侵入種が植生の主体となる。 |
| 客土種子吹付工<br>2cm厚 | 宮崎<br>6月施工<br>(9種配合)  | 種子配合は種子散布工と同じ<br>使用基材=有機質<br>(キャトルバン)                                           | 外来草本が優占するが在来草本、木本も多数発芽。 | メドハギ、イタチハギ、ヤマハギが急速に成長し、外来草本の草高を上回って生育。            | メドハギ、イタチハギ、ヤマハギがさらに成長し、植生の主体となっている。                                    |
|                 | 新庄<br>11月施工<br>(①③配合) | 種子配合は種子散布工と同じ<br>使用基材=有機質(キャトルバン)                                               | 無植生                     | 外来草本が密生<br>ハギ類木本は多数発芽                             | 前年の植生が継続され、外来草本主体の植生。<br>ハギ類木本は、密度が激減し、生育は法肩部に限定される。                   |

## 2. 8 侵食状況及び植生被覆に及ぼす影響

各地区では、同一の浸食階級区分表（表-1・6）に基づいて、1㎡コドラード毎に浸食階級値を測定している。その結果をまとめたものを次表に示す。

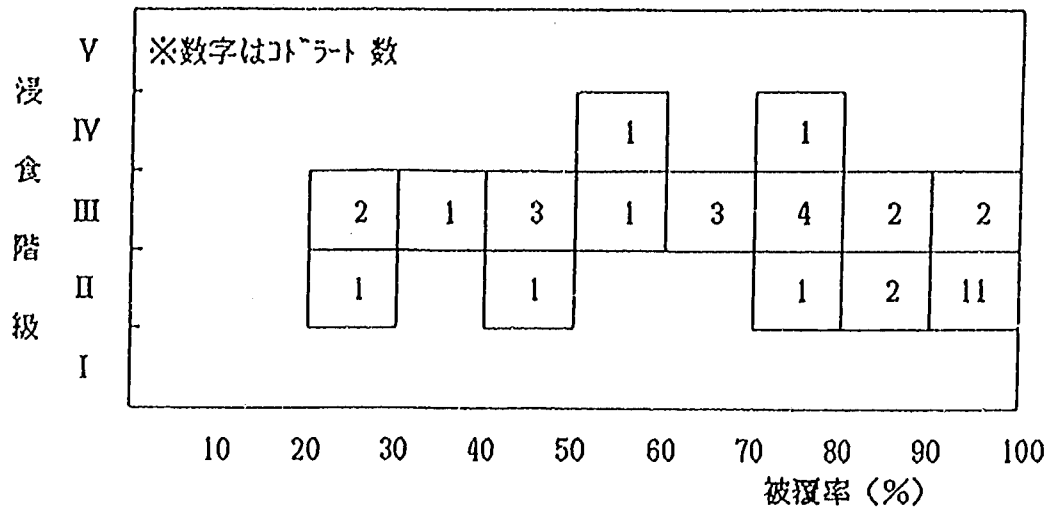
表-2・14 各地区の浸食階級

| 地区名   | 種子散布工                              | 客土種子吹付工 |       |                           | 厚層基材吹付 |
|-------|------------------------------------|---------|-------|---------------------------|--------|
|       |                                    | 材料      | 厚さ    |                           |        |
| 新 庄   | II～III<br>(IVが1ヵ所)                 | 砂質土     | 1cm   | IV                        | I      |
|       |                                    | 有機質     | 2cm   | I～II                      |        |
| 渡良瀬川  | III<br>(IVが1ヵ所)                    | 黒ボク     | 1,2cm | II～III                    | I      |
|       |                                    |         | 3,5cm | I                         |        |
| 倉 吉   | III                                | 砂質土     | 2cm   | II<br>(III,IV が<br>1ヶ所ずつ) |        |
| 宮 崎   | II～III                             | 有機質     | 1,3cm | I                         | I      |
| 吉 野 川 | わらむしろ張工<br>右岸(北向き) I<br>左岸(南向き) II |         |       |                           |        |

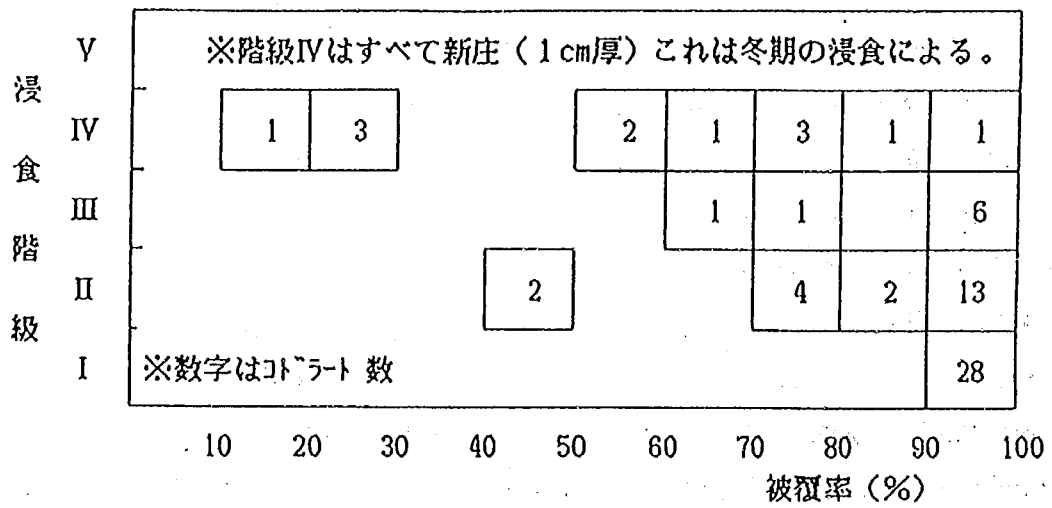
表-2・14によれば浸食階級は、種子散布工ではII又はIII、厚層基材吹付工ですべてIとそれぞれほぼ同一の値となっている。客種子吹付工では、吹付厚さ毎にほぼ同一の階級となっており、客土種子吹付工の浸食階級の大小は吹付厚さに左右されているという結果となった。従って、浸食階級と植生被覆との相関は、各地区共に明確ではなく、全国の結果を取りまとめた図-2・8においても明確な相関は表れていない。

浸食階級Ⅰ～Ⅲでは、法面の安全上問題とならない程度の浸食であるが、各地の浸食階級は新庄の客土種子吹付工1cm厚を除けば、ほとんどがⅠ～Ⅲの階級内にあり、各地区共に浸食の発生が少ない状況であった。各地区共に、施工した法面は比較的浸食の発生しにくい立地条件（特に、法長が短い、傾斜が緩いこと）にあったことや、全面に金網張工（宮崎では一部樹脂ネット張工）を施工したことが、植生被覆の低い状態でも浸食の進行しない原因となっていると考えられる。

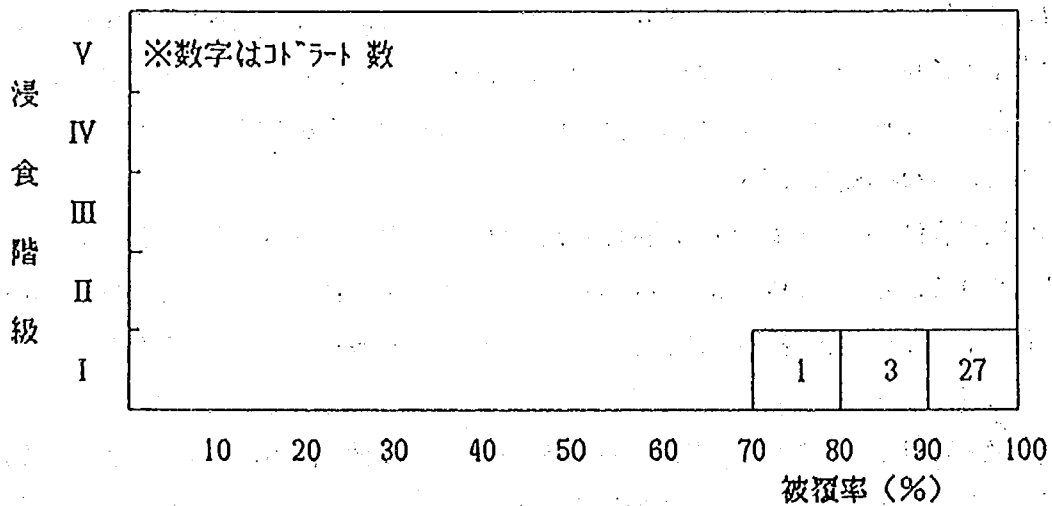
新庄の客土種子吹付工1cm厚は秋施工であり、無植生の状態で冬を越したことや 材料に砂質土を用いていることのために吹付けた基材がほとんど流失したものである。客土種子吹付け工を秋期に行う場合は、（特に寒冷地では）凍結、凍上による基材の損傷が起りやすいことを考慮すべきである。特に砂質土や黒ボクは冬期に浸食されやすいので、耐浸食性に優る有機質等の適用を検討すべきである。



種子散布工（吉野川を除く）



客土種子吹付工



厚層基材吹付工

図-2・8 相観被度と侵食階級との関係

## 2. 9 木本類の成立に關与する因子の抽出

木本類の成立に關しては、発芽の問題と発芽後の問題に分けられる。発芽の問題については、植生工種や使用する材料等により発芽の状況に差異が見られたので、その原因について考察する。生育の問題については植生工種、吹付厚さ、使用材料等によって大きな差異が生じている。しかし、この差異は混播している草本類の生育の良否に左右されており、木本の生育に關しては草本類の、特に初期の生育の良否が重要な因子となっていると考えられる。そこでここでは、草本類の初期の被覆率と木本の生育との相関をみることにする。

### 1) 木本類の発芽に關与する因子

実施工においての「発芽」とは、種子の発芽後に生育基盤（又は地山）に一応定着した状態という事が出来る。従って、実施工で良好な発芽が得られるためには、種子の発芽に最低限必要な温度、水、空気の条件のほかに、次のような条件が要素となると思われる。

- a) 種子が発芽するまで、あるいは発芽後の種子の流失がない。
- b) 種子が混入されている生育基盤の硬さが種子の発芽を妨げない。
- c) 発芽後根を定着できる生育基盤がある。
- d) 発芽後著しい乾燥や高、低温等の障害がない。

木本類の発芽を植生工種で比較した結果、客土種子吹付工と種子散布工では、概ね良好であったが、種子散布工では発芽に場所的なむらが認められた。また、厚層基材吹付工ではカバノキ科植物の発芽が悪く、ハギ類の発芽は試験地により著しい差があるという結果であった。

種子散布工においては、上記のa) 種子の流失とc) 発芽後の生育基盤に問題があると考えられる。木本類は発芽が遅いため、草本類に比較して流失の危険が高いと思われる。また、地山の硬質な法面において種子散布工を行った場合は、生育基盤がないために発芽直後の生育が阻害される恐れが強い。新庄、渡良瀬川では木本の発芽にやや「むら」があるのは、これらの原因によるものと考えられる。さらに、生育基盤の無い種子散布工においては、d) 乾燥、高、低温害を受け易い事が上げられるが、今回の各試験地では特に問題となるような状況はなかった。

厚層基材吹付工は、圧縮空気で吹付けるために基盤が硬くなりやすく、特にb) 基盤の硬さが問題となると考えられる。カバノキ科植物の発芽が厚層基材吹付工では特に不良であるのは、この硬さによるものと考えられる。（カバノキ科植物の種子は、ハギ類の種子に比較して大きさが数分の1と小さく、硬い基盤を押しつけて発芽できない。）

客土種子吹付工は、これらの問題が最も発生しにくい工種であるといえる。但し、新庄の1cm厚（砂質土使用、11月施工）では基盤の流失のために発芽数が少なくなっており、使用材料や施工時期によっては、a) 基盤の流失の問題が発生することも有り得る事に注意する必要がある。

吹付基材の使用材料の発芽適性については、「吹付に用いる材料別の傾向」のところで考察している。これによると、木本の発芽は、材料による差は小さいが、ハギ類、カバノキ科共に有機質で良好であるという結果であった。このことは、同じ有機質を用いる厚層基材吹付工（新庄、宮崎は有機質、渡良瀬川では有機質に砂質土が混合されている。）であっても、同様な発芽は期待できることを示している。このことから、厚層基材吹付工で木本類の発芽が悪い傾向にあるのは、基盤の硬さが影響を及ぼしている事が推測される。

## 2) 草本類の被覆率と木本の成立との関係

各地区において、施工1年後の草本の被覆率と、施工2年後の木本の成立状況との相関をみている。それによると、ハギ類とカバノキ科植物では木本が成立できる初期の草本被覆率の範囲に差が見られた。各地区での結果を表にまとめると、次のようになる。

表-2・15 木本類の成立できる施工1年後の草本被覆率

| 地区名  | ハギ類の成立                                  | カバノキ科の成立                    | 木本成立の判定基準                  |
|------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 新 庄  | 草本被覆率90%以上でやや不良<br>-----<br>90%以下では影響なし | 草本被覆率70%<br>以上で不良           | 草高を上回る樹高<br>を持つ木本の有無       |
| 渡良瀬川 | 95%以上で不良<br>-----<br>95%以下では影響なし        | 70%以上で不良                    | 木本密度の大小                    |
| 倉 吉  | (90%以上の工区はない)<br>-----<br>90%以下では影響なし   | 60%以上で不良<br>な傾向<br>(明確ではない) | 一定高さを上回る<br>樹高を持つ木本の<br>有無 |
| 宮 崎  | 90%以上でやや不良<br>-----<br>90%以下では影響なし      | 60%以上で不良                    | 草高を上回る樹高<br>を持つ木本の有無       |

各地区では共通した傾向がみられ、施工1年後の草本被覆率がハギ類では90～95%以上、カバノキ科植物では60～70%以上では木本類の成立が不良となっている。

ここで各地区では木本成立の判定基準が若干異なっているので、木本の成立状況を木本の密度に統一して、この木本密度（施工2年後）と1年後の草本被覆率との相関をみたものが図-2・9・1～図-2・9・8である。これによると各地区共に、ハギ類は草本被覆率が90%以上、ヤシャブシは60～70%以上の工区で密度が小さい傾向が認められ、表-2・15の結果と一致する。

また、木本の成立基準を「ハギ類では樹高40cm以上、ヤシャブシでは25cm以上の個体が1本でもあること」として1㎡コドラート毎に木本成立の有無を判定し、そのコドラート個数を施工1年後の草本被覆率の階級別にヒストグラムを作成した。（図-2・9・9～10）さらにこの結果を用いて、木本の成立しているコドラートの割合を求めてグラフ化したものが図-2・9・11である。（全試験地を合計したものである。）この図によると、ハギ類では施工1年後の草本被覆率が20%以下又は90%以上の両端での成立率が悪く、50%前後で最も成立率が高くなっている。一方、ヤシャブシでは、70%以上での成立率が悪い他はほぼ一定の成立率となっている。これらの結果は木本が成立できる草本被覆率の上限については、前記の結果と一致する。

ハギ類で草本被覆率が低くなると成立率が落ちる傾向にあるのは、草本類でも生育が不良となるようなところではハギ類の成立の可能性も低いということを意味している。このような草本の生育も不良な箇所は、種子散布工や客土種子吹付工において、浸食等による発芽、生育不良や養分不足の顕著に表れている箇所である。

一方ヤシャブシは草本被覆率が低くても成立率が落ちていない。ヤシャブシは肥料養分のすでに失われている種子散布工でも生育は良好であったことから、ハギ類に比較すると肥料要求度の低い植物であると考えられる。

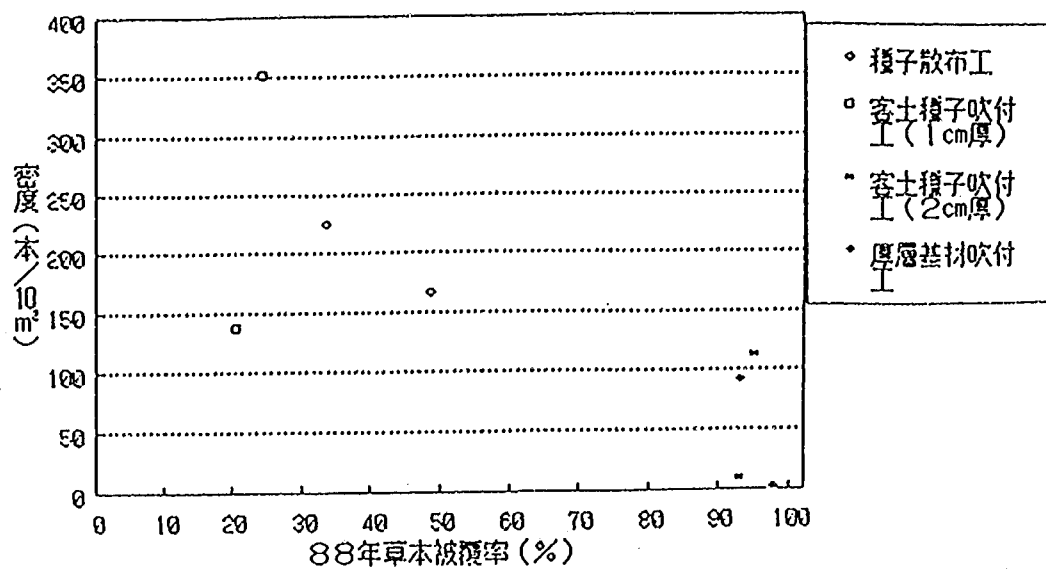


図-2・9・1 88年草本被覆率(1㎡コドラート)と89年ハギ類密度(10㎡コドラート)との関係  
(新庄工事)

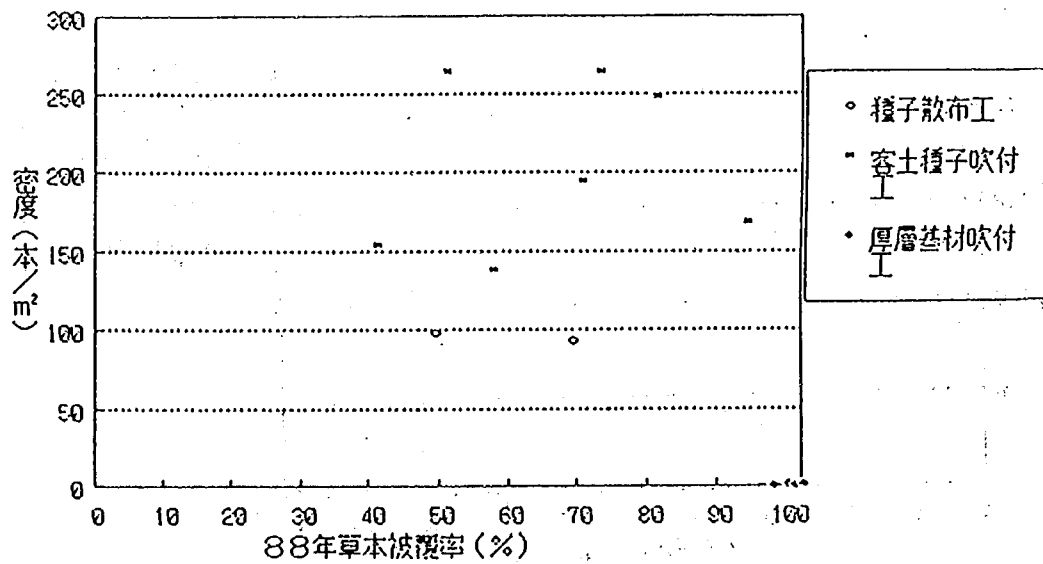


図-2・9・2 88年草本被覆率(1㎡コドラート)と89年ハギ類密度(10㎡コドラート)との関係  
(渡良瀬川工事)

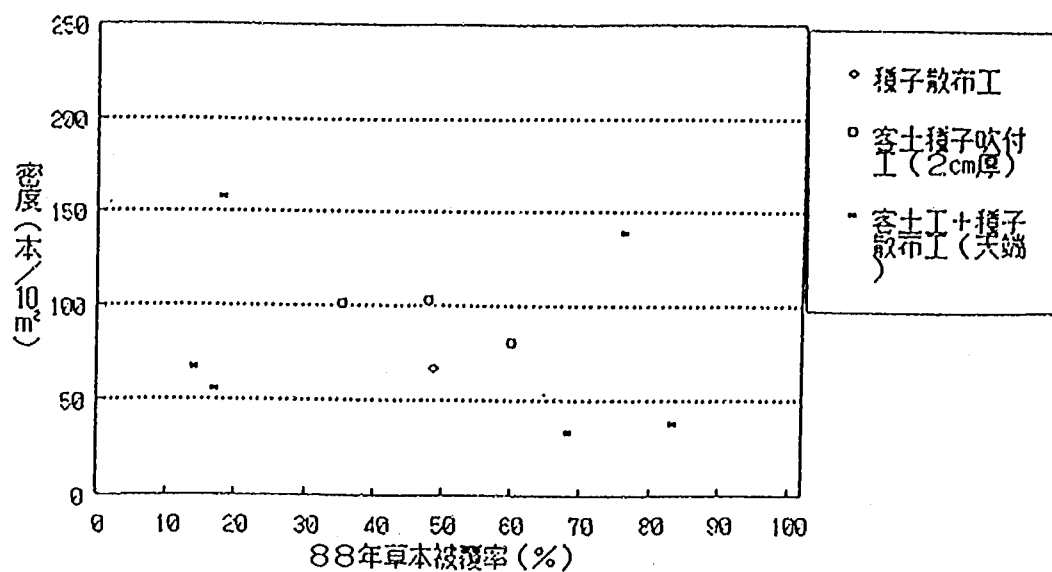


図-2・9・3 88年草本被覆率 (1㎡コドラート) と89年ハギ類密度 (10㎡コドラート) との関係 (倉吉工事)

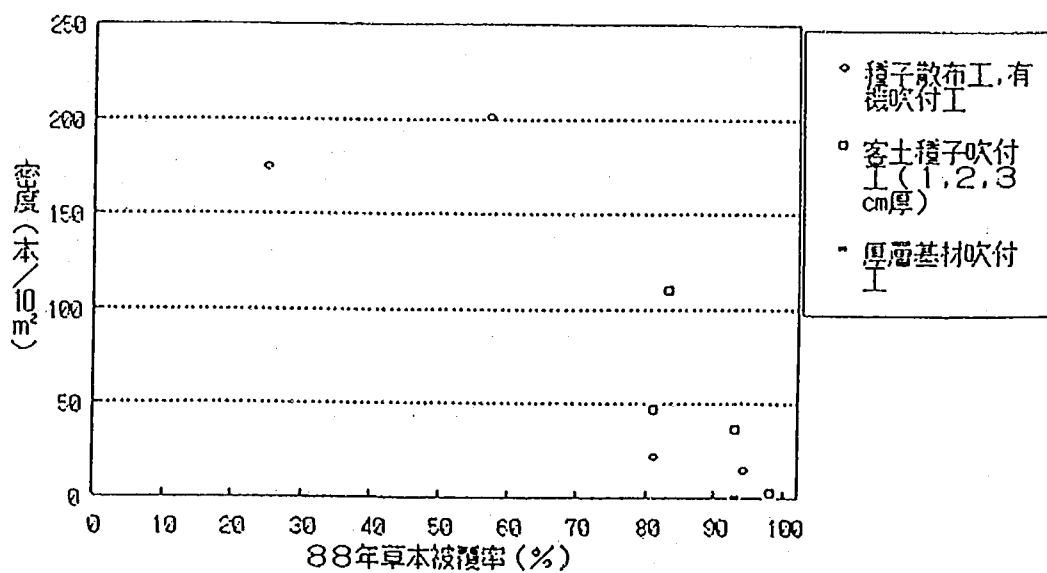


図-2・9・4 88年草本被覆率 (1㎡コドラート) と89年ハギ類密度 (10㎡コドラート) との関係 (宮崎工事)

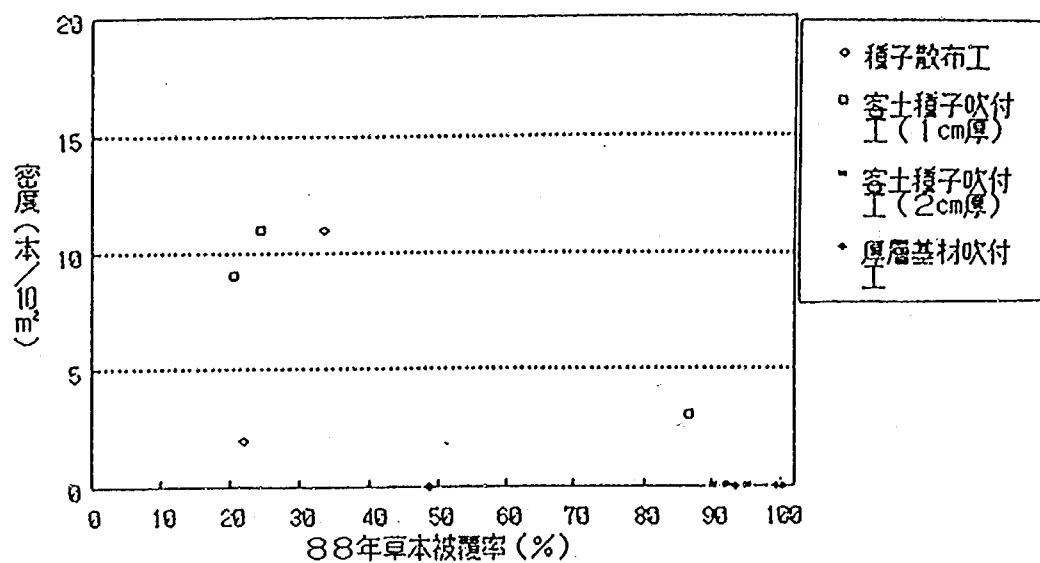


図-2・9・5 88年草本被覆率 (1㎡コドラート) と89年ヤシャブシ密度 (10㎡コドラート) との関係 (新庄工事)

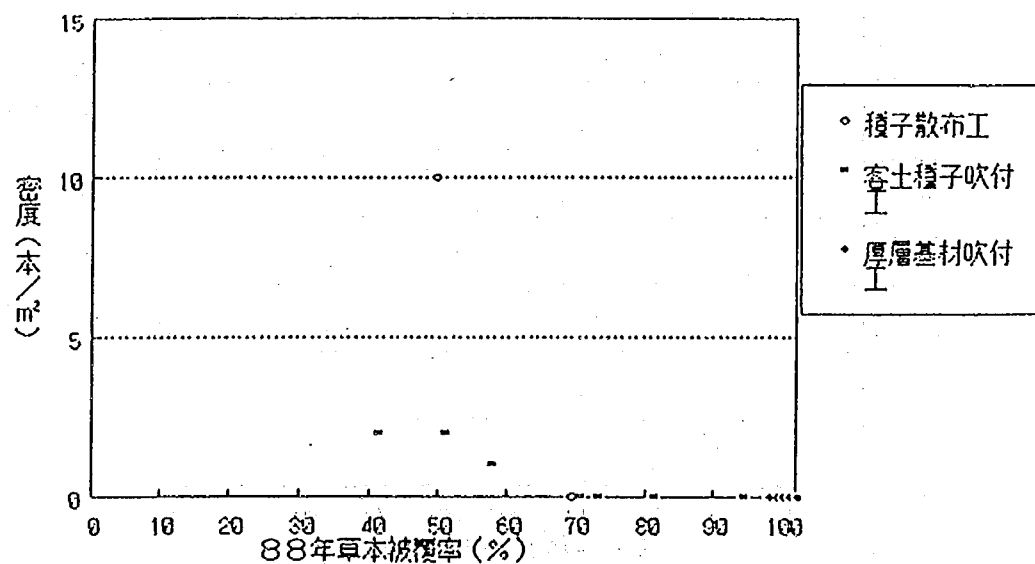


図-2・9・6 88年草本被覆率 (1㎡コドラート) と89年ヤシャブシ密度 (10㎡コドラート) との関係 (渡良瀬川工事)

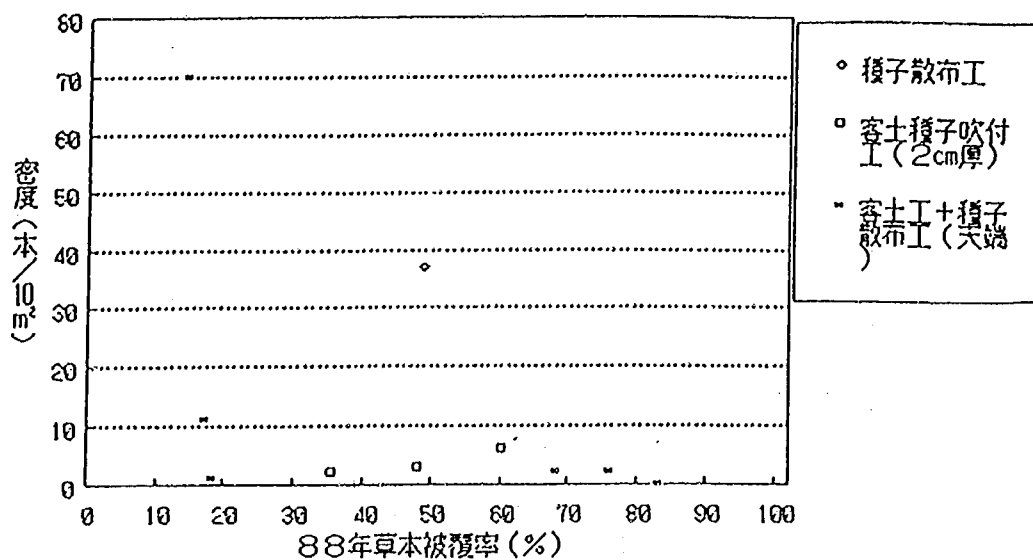


図-2・9・7 88年草本被覆率(1㎡コドラート)と89年ヤシャブシ密度(10㎡コドラート)との関係 (倉吉工事)

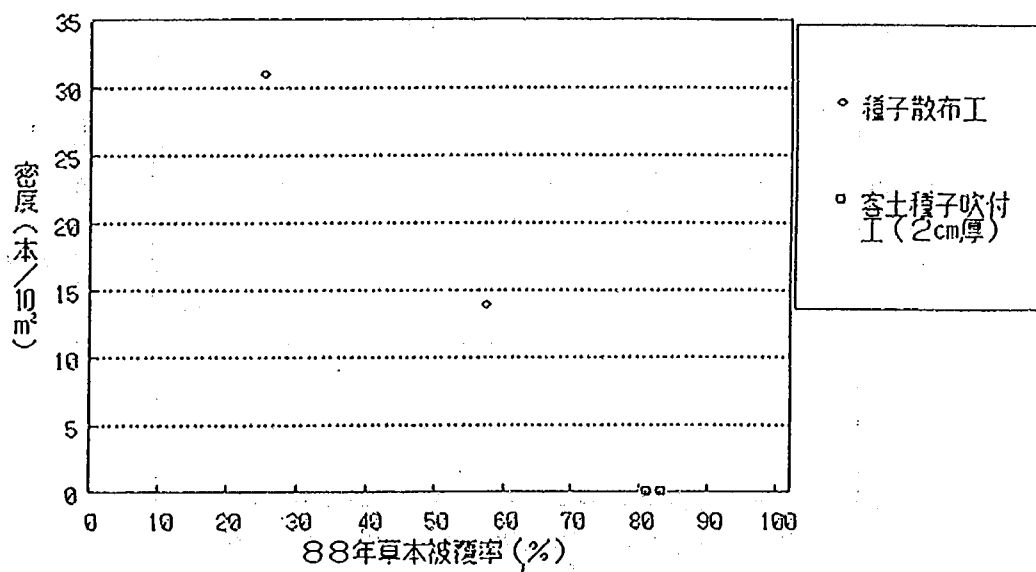


図-2・9・8 88年草本被覆率(1㎡コドラート)と89年ヤシャブシ密度(10㎡コドラート)との関係 (宮崎工事)

88年草本被覆率の階級別木本の成立しているコドラート数（全国4試験地の合計）

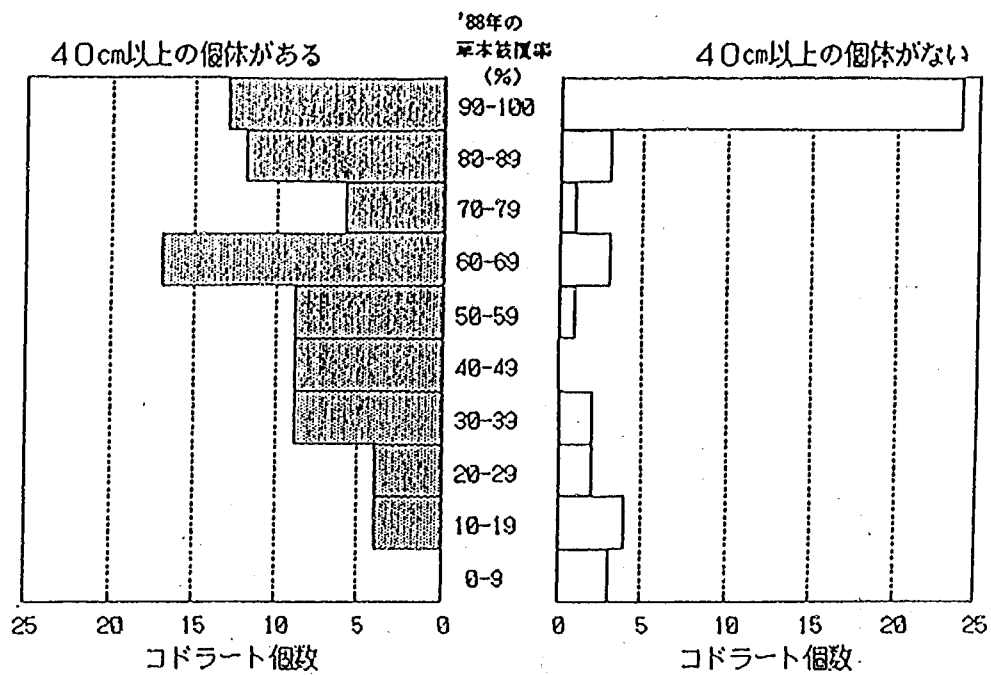


図-2・9・9 ハギ類

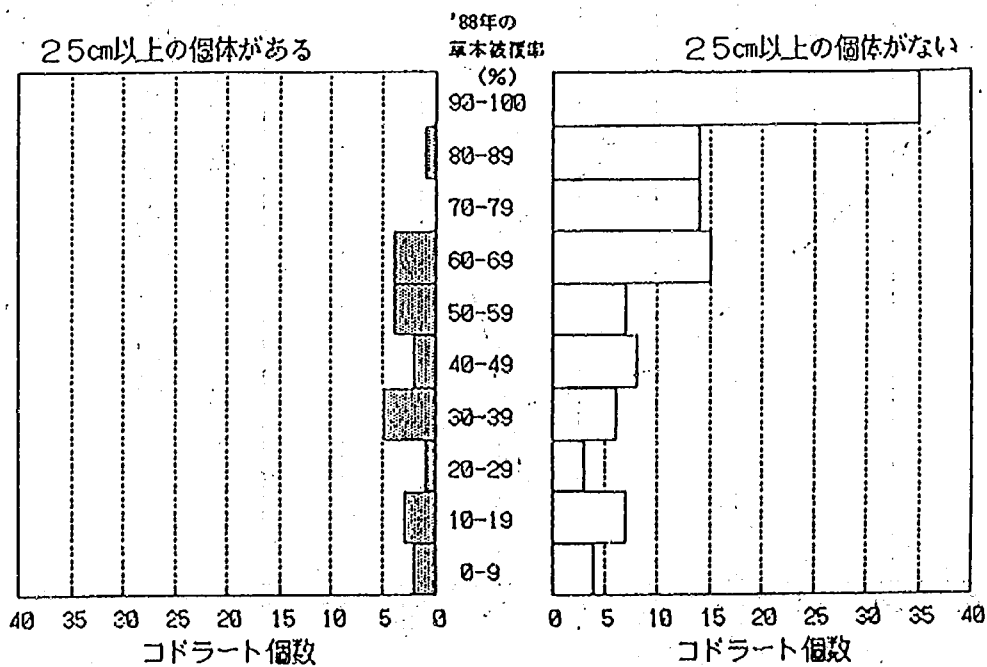


図-2・9・10 ヤシャブシ

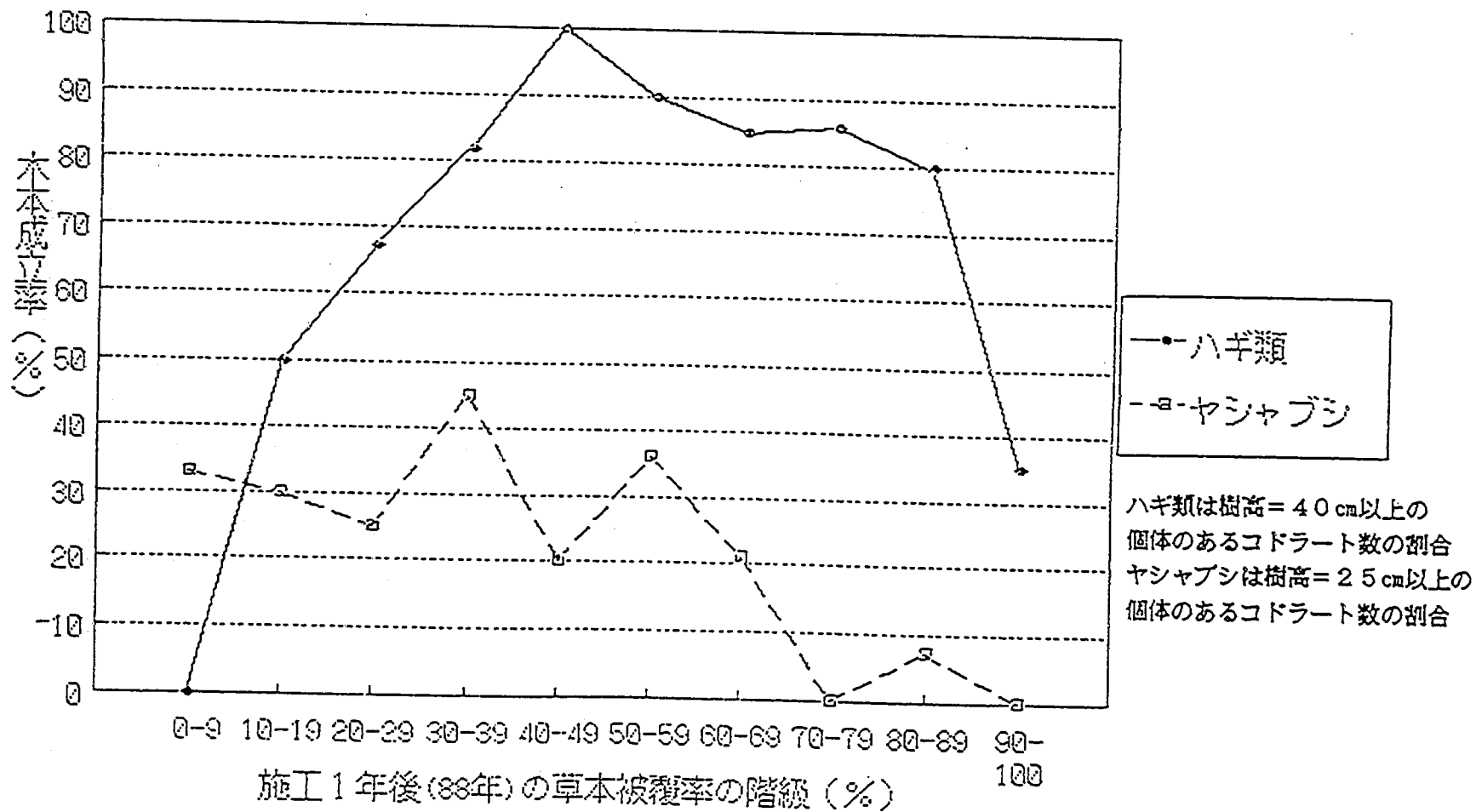


図-2・9・11 草本の被覆率階級別木本の成り率 (1 m<sup>2</sup>コドラート単位)

### 3. 各試験地に適した緑化方法の提案及び課題

#### 3. 1 各試験地毎の緑化上の問題点に対処できると考えられる緑化方法

各試験地毎に緑化上の問題点が取り上げられており、これに対処できる緑化方法について施工2年後までの調査結果から知り得た事実をもとに検討しそれぞれの試験地で有効と考えられる緑化工の提案及びこれら問題点に対する一般的な留意点等について各試験地毎に表-3・1～表-3・5に示す。

##### 3. 1. 1 新庄工事

当地域では緑化上の問題点として次の5項目が挙げられている。

- a・軟岩部では根の侵入が阻害される。
- b・軟岩部では節理にしたがって滑落が発生する。
- c・晩秋及び春先に凍結、融解現象による滑落が発生する。
- d・積雪害がある。
- e・植物の生育適期が短い。

これらの諸問題に対処できる緑化方法を今回の試験施工の2年後の結果をもとに検討する。

緑化工の選定に当たっては、次の点に注意することが肝要である。

- a・地山の土質（岩質）に応じた植生工を選定する。
- b・当地は冬期の低温が厳しく積雪量もおおいので、これに対処できる植生工、緑化基礎工を選定する。

試験を行ったのり面の土質はNo.1～No.6がれき混じり土砂、No.7～No.16が細かな割れ目の多い軟岩である。施工1年後の結果では、のり面の土質の違いによる差は出ておらず、客土種子吹付工（2cm厚）、厚層基材吹付工（3cm厚）の植生被覆が良好であった。このため、2つの植生工では相対的により安価な客土種子吹付工（2cm厚）が当地の軟岩及び土砂部の植生工として適しているという評価であった。

施工時期は11月と遅く、植物が発芽しないまま積雪期を迎えたため、種子散布工、客土種子吹付工（1cm厚）では植生基材の流出が甚だしく、その後の植物の生育も大きく影響されているのに対し、客土種子吹付工（2cm厚）、厚層基材吹付工（3cm厚）では植生基材の流出は殆ど無かった。従って、2年目に客土種子吹付工（2cm厚）が適当であると評価された主因はのり面地山の条件によると言うことよりも各植生工の対凍上、対凍結性や対浸食性の強弱の違いが大きかったといえる。

尚、当地では秋季施工を行う場合は、客土種子吹付工（2cm厚、主材料は有機質）が適当であり、これより劣る植生工は不適であるといえる。

施工2年後の結果は、概ね1年後と同様であるが、特筆すべき点をあげると次の通りである。

- a・外来草本はほとんどの試験区で衰退の傾向にある。
- b・侵入植物はほとんどの試験区で増加の傾向にある。

c・a・及びb・の傾向は植生基材の薄い区で顕著であり、厚い区では小さい。

外来草本の衰退は養分不足に起因するものと考えられるが、すべての試験区に大なり小なりみとめられている。

種子散布工と客土種子吹付工（1cm厚）は1年後に比べて外来草本は大きく低下しているが、侵入植物が多く被覆率は増加している区もある。外来草本の衰退を補う結果となっているが、被覆率は両方を合わせても50%に満たない区が多く、現況では良好な被覆といえない。今後、侵入植物の伸長にともなって、植生の状況が好転しても当地の緑化工としては確実性が低く、不適であるといえる。

客土種子吹付工（2cm厚）は外来草本がやや衰退しており、1年後は90%程度あったものが55%となっている。但し、侵入植物と合わせると70%以上はあり、侵入植物の伸長は十分に期待でき、全体の被覆率は向上していくものと推測される。

厚層基材吹付工（3cm厚）は外来草本の衰退が軽微であり、草丈はやや低くなっているものの被覆は全面的である。最も確実性の高い植生工といえる。

客土種子吹付工（2cm厚）は外来草本の衰退傾向はあるものの良好な植生被覆の範囲であり、施工価格が厚層基材吹付工（3cm）より安価であることを考慮すれば、当地域の植生工として最も適していると評価される。

種子配合は木本を導入して、より上位の遷移系列に円滑に移行できる植生とすることが望ましい。したがって外来草本、在来草本、木本類（ハギは必ず入れる）を混播する配合が適当と考えられる。

表-3-1 新庄工事における緑化上の問題点と対処できる緑化方法

| 緑化上の問題点                                                                                                                        | 試験地での緑化工法の評価結果                                                                                                                                                 | 緑化上の問題点に対処する場合の一般的留意点                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・軟岩部では根の侵入が阻害される。</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・客土種子吹付工2cm厚、厚層基材吹付工3cm厚では外来草本の生育は良好であり、外来草本の導入に関しては問題はない。<br/>(種子散布工と客土種子吹付工1cm厚は疎交り土砂で行なわれている。)</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・キレツの少ない軟岩では根の侵入余地が少ないため、植物の生育当初は吹付けた基盤内だけでも生育可能な基盤厚さが必要である。</li> <li>・根の侵入余地は、土壌硬度、岩盤のキレツの間隔等に対応している。これら地山の条件に合わせて植生工種、吹付厚さを設定する。</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・軟岩部では節理にしたがった滑落が発生する。</li> <li>・晩秋及び春先に凍結、融解現象による滑落が発生する。</li> <li>・積雪害がある。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・金網張工は凍上、凍結害に伴う地山滑落を防止する効果が高い。</li> <li>・モルタルガンを用いて有機質基材を吹付ける方式(客土種子吹付工2cm厚と厚層基材吹付工3cm厚は無植生の状態で越冬することが可能である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・切土法面に金網張工を採用する事は地山表面の安定、吹付基盤や成立した植生の滑落の防止に有効である。</li> <li>・秋期～冬期施工では特に耐浸食性の大きい植生工種を採用することが必要である。</li> </ul>                                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・植物の生育適期が短い。</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回導入した植物はいずれも当地区での生育が可能であり、左記の問題は少い。</li> </ul>                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・寒冷地では、冬草系外来草本を使用する。<br/>(K31F,OG,CBF,KBG等)</li> <li>・当地域の標高1,000m以下の地域は山地帯に属し、この地域では今回使用した植物は導入不可能である。</li> </ul>                            |

### 3. 1. 2 渡良瀬川工事

当地区の緑化上の問題点として次の5項目があげられている。

- a・粗粒でれきが多く、保水性、保肥性が低い。
- b・強酸性であり、生育阻害物質を含む。
- c・冬期は著しく低温となり、植物は低温害を受ける恐れがある。
- d・植物の生育適期が短い。
- e・周辺からの侵入植物が少ない。

施工2年後の植生状況からみて、種子散布工や客土種子吹付工（1cm）などの薄い生育基盤であっても肥料養分不足の傾向はあるが、生育阻害物質を含むことに起因する諸問題は発生していない。当試験区の地山は植物の生育を阻害する、あるいは枯死にいたらしめるような物質は含んでいないと判断される。

次に寒冷な気象条件に起因する「低温害」や「植物の生育期間が短い」ことの問題も認められず、今回の試験で使用した植物は当地の寒冷な気候に充分耐えるものであるといえる。

「周辺からの侵入植物が少ない」という問題は、明らかにこの傾向がみられ、施工2年後ののり面としては侵入植物の質、量とも極めて少ない状態といえる。このことは、植生導入が順調に行われていれば問題は小さいが、導入植生が衰退するようなことがあれば大きな問題となることもあるので注意を要する。

「粗粒でれきが多く、保水性、保肥性が低い」という問題は、種子散布工の外来草本の生育状況にあらわれている。吹付厚が薄い工法を採用する場合は肥料要求度の高い外来草本だけを導入すると問題が生じる可能性がある。施工2年後の状況でみられるように痩地にも耐える在来草本のメドハギや木本類を混播するような種子配合とすることが望ましく。緑化の確実性の向上につながると考える。

施工2年後までの植生の経過から試験法面の立地に対処できる緑化工法を検討すると次のように考えられる。

種子散布工では、特に問題となるような浸食は生じていないが、外来草本の衰退傾向も見られることから、緑化の確実性はやや劣ると思われる。客土種子吹付工（1，2cm厚）では、施工2年後では被覆は全面的であり、播種した植物の導入も出来ていることから、本施工地に適当な植生工種と言うことが出来る。但し、客土種子吹付工（1，2cm厚）では、施工当年、1年後の被覆率がやや低いという問題があり、確実性を重視するならば、3cm厚も検討すべきである。

以上のことは、当試験を実施した法面の立地に言えることであるが、もっと急勾配な法面や、地山の硬度の高い（軟岩以上）法面では、種子散布工や客土種子吹付工（1，2cm厚）では、確実性がさらに低下することが予想される。この様な法面では、客土種子吹付工（3cm厚）や厚層基材吹付工の適用を検討すべきである。厚層基材吹付工は、外来草本の被圧のために木本類の導入には不利な面があったが、耐浸食性では最も優れていることから、高い耐浸食性を要求される法面に最適な工法であると言える。厚層基材吹付工で木本類を導入する場合は、特に外来草本の播種量の検討を慎重に行う必要があると考えられる。

表-3・2 渡良瀬川工事における緑化上の問題点と対処できる緑化方法

| 緑化上の問題点                                       | 試験地での緑化工法の評価結果                                                                                      | 緑化上の問題点に対処する一般的留意点                                                                                |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ・粗粒で礫が多く、保水性、保肥性低い                            | ・種子散布工では、外来草本生育不良、場所による発芽、生育のむらが発生しており、確実性が劣ると考えられた。<br>・客土種子吹付工2～3cmは浸食の防止、木本の導入の両面で最も優れていると考えられた。 | ・やせ地にもよく耐えるマメ科植物、カバノキ科植物を導入する。                                                                    |
|                                               |                                                                                                     | ・当試験法面よりもさらに条件の厳しい法面（急勾配、根の侵入余地小、乾燥しやすい等）では、生育基盤には優れた耐浸食性、保肥、保水性が要求される。立地条件によっては、厚層基材吹付工の適用も検討する。 |
| ・強酸性であり、生育阻害物質を含む。                            | ・種子散布工でも、左記の問題はなく、当地の地山は植物の生育を阻害する物質は含んでいないと考えられる。                                                  | ・pH4以下の強弱酸性土では、生育基盤内だけで植物が生育可能な吹付厚さ（5m以上）が必要とされる。                                                 |
| ・冬期は著しく低温となり、植物は低温害を受ける恐れがある。<br>・植物の生育適期が短い。 | ・導入した植物では低温害の発生はない。<br>・生育適期が短いことによる導入植物の生育不良はない。                                                   | ・冬草系外来草本（K31F,OG,CRF,XBG等）を使用する。<br>・山地帯植生地域（標高1,500m以下）では今回使用した植物は導入可能である。                       |
| ・周辺からの侵入植物が少ない。                               | ・各植生工種共に、侵入植物はほとんどみられなかった。                                                                          | ・自然の植生遷移に期待する工法は避け、積極的に木本や在来草本を導入する。                                                              |

### 3. 1. 3 倉吉工事

当地区の緑化上の問題点として次の3項目があげられている。

- a) 粗粒でれきが多く、保水性、保肥性が低い。
- b) 植物の生育適期が短い。
- c) 国立公園に位置するため、緑化用植物の制限を受ける。

「保水性、保肥性が低い」という問題に関しては、本試験地の法面で行った試験では、施工2年後までのところ、特に問題は発生していない。最も肥効期間の短いと考えられる種子散布工においても、施工初年度から継続して比較的高い植生被覆を保っており、初年度においてはむしろ客土種子吹付工の被覆を上回っている。施工2年後では、両工種共に植生被覆は向上しており、木本の生育も良好である。

当試験地で生育の良好な植物は、木本類ではヤマハギ、イタチハギ、ヤシャブシ、草本類ではメドハギであり、吹付基材の肥効が衰えたと思われる施工1年後から2年後にかけての成長も著しい。これらの植物は根に根粒を形成して空気中の窒素を固定できる植物であり、このようなマメ科、カバノキ科の植物は、肥料養分の少ない当地のような土質には適当であると考えられる。

一方天端において客土工（ $t = 25$  cm厚）を行った試験区においては、木本類の生育は法面よりも良好であり、特にヤシャブシ、ヤマハギの成長が著しい。客土は良質な表層土（黒ボク）を用いており、このような植生基盤が造成できれば木本導入には理想であるといえる。

植物の生育適期が短いことは、当試験地においては、特に問題とはなっておらず、当試験で使用した植物は、当地の寒冷な気候に充分耐えられるものであると言える。

緑化用植物の制限では、当試験地が国立公園内であることから、本試験では外来草本は使用していない。外来草本は初期の生育が旺盛であることから、施工初期の浸食防止効果を期待できるが、外来草本を用いていない本試験においても特に問題となる浸食は発生していない。これは、当試験地は浸食を受けにくい立地条件であったことや法面においては全面に金網張工を施工していることによる効果が大きいと思われる。このように、在来草本と木本類だけを播種した施工であっても、施工初期（1～2年）の浸食を回避できれば、緑化は十分可能であると考えられる。そのためには、緑化基礎工として金網張工の採用、耐浸食性のある植生工種の採用（種子散布工よりは客土種子吹付工）、施工適期の施工（4～6月）等が必要となると考えられる。

施工2年後までの植生の経過から試験法面の立地に対処できる緑化方法は次のように考えられる。

法面においては、種子散布工、客土種子吹付工共に植物の生育は良好であるが、当試験法面の良好な立地に負うところが大きいと考えられる。種子散布工は、浸食による種子や肥料の流亡の危険が大きく、初期の植生被覆も低い。このため、確実性を重視するならば、客土種子吹付工が望ましい。また、緑化基礎工としては、金網張工を併用すべきであると考えられる。平坦地においては、客土工を厚層に施すことが可能であるが、この客土工は木本類の導入に極めて有効であると考えられる。但し、今回のように種子散布工で播種した場合は発芽に「むら」が生じることが懸念されるため、客土種子吹付工で播種を行うことも検討すべきである。

表-3・3 倉吉工事における緑化上の問題点と対処できる緑化方法

| 緑化上の問題点                                                                      | 試験地での緑化工法の評価結果                                                                                                                                                                       | 緑化上の問題点に対処する一般的留意点                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・粗粒で礫が多く、保水性、保肥性が低い。</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・法面での種子散布工でも植物の生育は、良好であり、生育上の問題は少ない。</li> <li>・天端での客土工（25cm）厚は、郷土草本や木本の生育基盤として極めて有効である。</li> <li>・十分な土壌改良を行わない苗木植栽工では、樹木の導入は困難である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・マメ科、カバノキ科等根粒菌により窒素を固定する植物は、肥料養分の少ない当地のような土質に導入する植物として適当である。</li> <li>・当試験地の法面は法長が極めて短いことを考慮し、さらに悪条件の法面（急勾配、長大法面、乾燥しやすい等）では、客土吹付工や厚層基材吹付工の適用も検討する。</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・植物の生育適期が短い。</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・生育適期が短いことによる導入植物の生育不良はない。</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・山地帯植生区域（標高1,200m以下）では今回使用した植物は導入可能である。</li> </ul>                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・国立公園に位置するため、緑化用植物の制限を受ける。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外来草本を使用していないが、法面においても侵食の問題は発生していない。</li> <li>これは、当試験地が侵食の問題が発生しにくい立地であったことと、金網張工を併用したことによると考えられる。</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外来草本を使用しなくても、施工初期（1～2年）の侵食を回避できれば緑化は可能である。そのためには、金網張工の採用、耐侵食性のある植生工種の採用（種子散布工よりは客土吹付工）施工適期の施工（4～6月）等が必要である。</li> </ul>                                       |

### 3. 1. 4 宮崎工事

当地域では緑化上の問題点としての次の3項目があげられている。

- a. 粘性土で冬期は低温となるので霜柱が発生する。
- b. 土壌硬度が23mm以上の部分もあり、根の侵入が阻害される。
- c. 降水量が多く、降雨浸食を受ける。

これらの諸問題に対処できる緑化方法を試験施工の2年後の結果をもとに検討する。

植生工種は種子散布工、有機吹付工、張芝工、客土種子吹付工（1、2、3cm厚）、厚層基材吹付工（5cm厚）の計7工種であり、種子散布工と客土種子吹付工では4種類の種子配合を比較している。

施工2年後の被覆率の合計をみるとすべての区で前年度より増大している。しかも種子散布工の9種配合（80%）、9種×1/2配合（57%）以外は90%以上の被覆率となっている。草丈もすべての試験区で前年度より大きくなっており、植生は順調な生育を示していると評価できる。

「降水量が多く、降雨浸食を受ける」という問題が予想されたが、施工1年後の状況と比較して浸食が進行したということは無く、浸食はとくに問題となっていない。各植物の成長が良好であったことからみると、降水量が多いことは逆に植生に好影響を与える結果となった。

「土壌硬度が23mm以上の部分」があるとされていたが、測定した結果は概ね23mm以下であり、「根の伸長は阻害」されるという問題は発生していないと考えられる。

「霜柱の発生による滑落」は試験地内では発生していない。試験地周辺の裸地法面で僅かに発生しているが、問題となるようなものではなかった。

試験施工にあたって想定されたこれらの問題は、実際には緑化上の阻害因子となっていないと考えられる。したがって、種子散布工で外来草本主体の植生を導入するという従来の緑化方法（3種配合）を採用しても十分な緑化が可能である。

木本類を導入する場合は6種配合とする方が安全であるが被覆率が低くても大きな問題とならないので、9種配合を採用することもできる。9種配合では十分な木本導入ができていることからすれば、被覆率の低くなる9種×外来草本1/2配合は不利であり、採用すべきではないと考える。

但し、このような緑化の考え方は当試験地の法面が対象であり、根の伸長が阻害される硬質な土質や浸食を受け易い土質の場合は吹付厚の厚い植生工や耐浸食性の高い植生工を採用することが必要である。

表-3・4 宮崎工事における緑化上の問題点と対処できる緑化方法

| 緑 化 上 の 問 題 点                                                                                         | 試 験 地 で の 緑 化 工 法 の 評 価 結 果                                                                                                                                                                      | 緑化上の問題点に対処する一般的留意点                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 粘性土で冬期は低温となるので霜柱が発生する。</li> <li>・ 降水量が多く、降雨浸食を受ける</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各植生工区共に凍結害、浸食の発生はない。</li> <li>・ 施工が6月であり、施工当年秋にはすでに植生被覆が全区で50%を超えており、冬期間の浸食を抑制できたと考えられる。</li> <li>・ 法長が短く、法面の向きが北向きであり、浸食の問題が発生しにくい立地条件であった。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 秋～冬期の施工や浸食の発生しやすい立地では霜柱や雨水侵食による基盤の損傷の害が発生する事は十分考えられる。この場合は、耐浸食性のある植生工種（客土種子吹付工、厚層基材吹付工）を検討すべきである。</li> <li>・ 金網張工を採用することは、地山の安定や生育基盤及び生育する植物の滑落防止に対し有効である。</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土壌硬度が23mm以上の部分もあり、根の侵入が阻害される。</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土壌硬度を測定した結果、概ね23mm以下であり、根の侵入が阻害されるという問題は発生していない。</li> </ul>                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土壌硬度が25mm以上の硬質土では植物の生育は不良となる。このような地山では、やや厚めの（2～3cm以上）生育基盤が必要とされる。根の侵入余地や浸食の受けやすさ等の立地条件により、客土種子吹付工又は厚層基材吹付工を検討する。</li> </ul>                                           |

表-3・5 吉野川工事における緑化上の問題点と対処できる緑化方法

| 緑化上の問題点                                                     | 試験地での緑化工法の評価結果                                                                                                                                                                                    | 緑化上の問題点に対処する一般的留意点                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・保肥性がやや多い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・北向き斜面では、植生被覆は全面的であるが、南向き斜面では導入植物（外来草本）の生育が不良であり、これは主に水分条件の差によるものと考えられる。</li> <li>・マメ科植物であるホワイトクローバーは水分条件が良好であれば良く生育し、また、地山へ窒素を供給する能力があると考えられる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・乾燥によく耐える メドハギ等の植物を混播する事により、植生被覆の低下を阻止できる</li> <li>・マメ科、カバノキ科等肥料木（草）を導入する。</li> </ul> |

### 3. 2 木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法の検討

木本類、及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法について、次の項目別に検討する。

- 1) 植生工種
- 2) 吹付厚
- 3) 種子配合
- 4) 導入植物
- 5) 施工時期
- 6) 緑化基礎工

さらに、上記項目について、各地区の試験施工の結果明らかになったことを簡潔にまとめることにより緑化方法の提案の根拠を明らかにし、留意点等をつけ加えたものを表-3・7及び表-3・8に示す。

#### 1) 植生工種

木本類及び在来草本の生育が良好である工種は種子散布工と客土種子吹付工であったが、客土吹付工では種子散布工に比較して次のような利点が認められた。

- ・施工初期の植生被覆が良好である。
- ・木本類及び在来草本の成長が良好である。(樹高、草丈が高い。)
- ・耐浸食性に優れる。(特に有機質を使ったもの。)
- ・播種した植物の発芽、生育が均一でありむらが少ない。

従って客土種子吹付工は木本類及び在来草本を導入する際には最も確実性の高い工種であると考えられる。

種子散布工は今回の各試験地では、比較的条件の良い(地山が軟質であるか又は土砂である。浸食を受けにくい立地である)法面において施工されているため問題の発生が少なかったことが考えられる。従って、もっとも植物の生育条件のきびしい法面ではさらに確実性が劣ると考えられる。

厚層機材吹付工は、外来草本の成長が著しく、木本類や在来草本を被圧する傾向にあった。木本類や在来草本の発芽は樹種により、また使用する材料により著しい差があり、木本類の発芽に関しては客土種子吹付工よりも確実性が劣るように思われた。厚層基材吹付工では木本類及び在来草本を導入しようとする場合は、外来草本の播種量をもっと減らすことや導入を目的とする木本類の種子配合を検討すべきと考えられる。

#### 2) 吹付厚

客土種子吹付工は、吹付厚1～3cmの範囲で地山の状態に応じて設定していくことが望ましい。客土種子吹付工の吹付厚さについては、「吹付厚さ別の傾向」のところ考察しているが、それによると、吹付厚さの選定に当たっては、次のことを考慮して検討すべきである。

- ・1cm厚は木本類及び在来草本の発芽床としての効果は期待できるが、2年目以降の生育基盤としての効果は低い。また、施工時期や使用する材料によっては浸食の問題が発生しやすい。(例 新庄1cm厚)

・有機質を用いたものは、黒ボクや砂質土を用いたものに比較して外来草本が優占しやすく、3cm厚では厚層基材吹付工と同様な性質を示す。(例 宮崎3cm厚)

・黒ボクを主材料としたものは3cm厚までは外来草本の被覆は全面的とはならないが、5cm厚では外来草本が過剰に生育し、木本類や在来草本を被圧する傾向がある。(例 渡良瀬川1～5cm厚)

### 3) 種子配合

木本類の成立にとって適当な草本被覆率は施工1年後でハギ類では90%以下、カバノキ科では70%以下であった。また、施工1年後で植生被覆が低くなると地山が浸食を受ける危険性が高くなるが、施工1年後の調査結果によると被覆率が60%以上あると浸食の問題が生じにくいという結果であった。

従って、木本の成立にとって適当な草本類の被覆率は施工1年後でハギ類では60～90%、カバノキ科では60～70%であり、草本類の被覆率がこの範囲となるよう種子配合を設定することが望ましい。

但し、植生工種により草本類の発芽や生育が異なるため、播種量は植生工の種類によって変えることが必要である。

外来草本の被覆率と播種量の関係について、植生工種ごとに目安とすべき値を(表-3・6)に示す。

表-3・6 外来草本の期待発生本数と目安となる被覆率(1年後)

| 植生工                 | 外来草本の期待発生本数    | 被覆率      |
|---------------------|----------------|----------|
| 種子散布工               | 10,000本/㎡      | 90%以上    |
|                     | 1,500～7,000本/㎡ | 60～90%   |
| 客土種子吹付工<br>(1～3cm厚) | 3,000本/㎡以上     | 90%以上    |
|                     | 1,500～3,000本/㎡ | 60～90%以上 |
| 厚層基材吹付工<br>(3～10cm) | 1,500本/㎡以上 *1) | 90%以上    |
|                     |                | 60～90%   |

\*1) 厚層基材吹付工は1,500本/㎡以下での実施例がないので記載しない。

あえて独断的にいえば、被覆率60～90%にするためには300～800本/㎡程度となると思われる。

これは、今回の試験結果だけからの目安であり、これだけで一般的な播種量の基準とすることはできない。基準化のためにはこの播種量を今後の種子配合の設計、検討の材料として扱い、さらに多くの実例を重ねデータを蓄積していくことが必要である。

一方、在来草本や木本類の播種量については、今回の試験結果をもとにすると次の点を考慮すべきである。

- ・ハギ類木本、在来草本は1種あたり100～500本/㎡の期待発生本数の範囲で設定すればよい。
- ・カバノキ科木本は、発芽効率が極めて低く、発芽後の生存率も低い傾向にあるので、今回の試験での播種量（期待発生本数は法面で100～400本/㎡）よりも多く設定することを検討すべきである。（倉吉の天端でヤマハンノキ、ヤシャブシの導入に成功している工区での期待発生本数は2種合計で1,310本/㎡であった。）

#### 4) 導入植物

今回の試験地は何れも寒冷な気候である。寒冷地で使用すべき植物としての次の植物があげられる。

##### a. 外来草本

K31F, CRF, OG, KBG

この中から2～3種選定した混播することが適当である。

##### b. 在来草本

ヨモギ、ススキ、メドハギ

メドハギは植生基盤の肥効がなくなったあともよく生育し、木本類への被圧の程度も小さいので最も適当な植物であると言える。

##### c. 木本類

ヤマハギ、イタチハギ、ヤシャブシ（ヤマハンノキ）

ヤマハンノキはヤシャブシに比較すると発芽の確実性が劣るのでヤシャブシと混播して用いるべきである。

#### 5) 施工時期

木本類を導入する場合の施工適期は春期であり、梅雨以前に施工を終える事が望ましい。施工適期は、温暖地（温量指数※85以上、暖温帯、常緑公用樹林帯）では3～6月、寒冷地（温量指数85以下、冷温帯、落葉広葉樹林帯）では4～6月である。

夏期は高温となり、乾燥害を受けやすく、このため、発芽が阻害されたり、最も弱い生育段階である発芽初期に枯れ死するなどの問題が発生しやすい。施工箇所の立地（斜面の向きや標高等）によっても条件は異なるが、乾燥しやすい南～西向き斜面や低標高地では、盛夏の施工は避けることが望ましい。

秋期施工の場合は、発芽した植物が越冬前に充分成長しきれずに冬期に枯れ死してしまう例が多いことや、植生被覆が充分でない状態で越冬するために植生基材の損害が発生しやすい。さらに、寒地の外来草本を混播している場合は、これら外来草本の発芽可能温度（5～7℃）は、木本類の多くの発芽可能温度（10～12℃）より低いため、晩秋～早春にかけての外来草本が優勢になりやすい。

秋期施工には、以上のような問題があるが、今回の試験においては、新庄（11月施工）、渡良瀬川（9月施工）においても木本が成立しており、秋施工も可能であるという結果であった。しかし、新庄の種子散布工や客土種子吹付工では、植生基材の流失が甚だしいという問題があり、このことから、施工箇所の立地

条件や植生工種によっては、冬期施工では確実性が劣ると考えられる。従って、秋施工は今回の結果である程度可能性を見いだせたとしても、できるだけ適期施工で実施すべきである。

冬期は、秋施工と同様な理由で施工不適期である。特に寒冷地では、凍結や凍上により施工後の植生基材の損傷が発生しやすく、このような地域では、種子散布工や客土種子吹付工（採取土使用のもの）等の耐浸食性に劣る工種の施工は避けることが望ましい。

※温量指数とは、1年間の各月の平均気温（°C）のうち5°C以上の月から5°Cを減じた数を合計したものであり、次式で表される。

$$W1 = \sum (t - 5) \quad (t > 5)$$

W1：温量指数 (Warmth index)

t：各月の平均気温（°C）

n：t > 5°Cの月数

#### 6) 緑化基礎工

緑化基礎工としては、金網張工（φ2mm、50×50mm）を併用することが有効である。植生基材及び植生の流失は防げるし、地山の表面が固定されるために緑化の確実性は高くなる。とくに寒冷地では、晩秋～春先に凍結、融解現象による法表面の滑落が発生しやすいので、金網張工を併用して防止することが望まれる。実際の例を見ても金網張工を併用した緑化工は失敗例が少ないことが実証されている。

表-3・7 木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法の検討、提案及び留意点

| 項 目               | 区 分                      | 試験結果から明らかになったこと（根拠）                                                                                                                                                                                                                                                                              | 緑化方法の提案及び留意点                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 植生工種<br>及び<br>吹付厚 | 種子散布工<br>わらむしろ工          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・浸食の発生が少ない立地条件にあるレキ交り土等での適用には適し、木本や郷土草本の導入も可能である。</li> <li>・地山の硬軟、土質、水分条件等の影響を強く受ける。</li> <li>・寒冷地の秋施工では、基材は流失しやすい。</li> </ul>                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・浸食の発生が少ない箇所、土壌硬度25mm以下であり、水分条件も比較的良好な地山では適用可能である。</li> <li>・適期施工（春）が望ましい。</li> </ul>                                                                                           |
|                   | 客土種子吹付工<br>(1,2,3,5cm厚)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・木本類や郷土草本の発芽、生育は良好であり、外来草本が過剰に生育しないため、木本類や郷土草本の導入が容易である。</li> <li>・同一の条件では吹付厚が厚い程外来草本の生育は良好となり、木本類や郷土草本は被圧されやすい。また、吹付基材に有機質を用いたものは、黒ボクを用いたものより外来草本が優勢となりやすい。</li> <li>・吹付基材に有機質を用いたものや、黒ボクを主体に用いたものは耐浸食性に優れる。</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・土砂法面やキレツの多い軟岩等植物の根の侵入余地の大きい法面では最も確実に、木本類や郷土草本を導入することができる。</li> <li>・地山の状況（根の侵入余地、水分状態、浸食の受けやすさ）を考慮して吹付厚さを決定すべきである。</li> </ul>                                                  |
|                   | 厚層基材吹付工<br>(3,5,7,10cm厚) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外来草本の期待発生本数が1,400本/㎡以上では、外来草本が密生し、木本類や郷土草本は被圧される。</li> <li>・木本類や在来草本の発芽は、有機質基材（新庄、宮崎）の方が土砂系基材（渡良瀬川）よりも優れており、前者では客土種子吹付工と同程度の発芽が見られた。</li> <li>・積雪寒冷地でも無植生の状態で越冬可能であり、耐浸食性には最も優れる。</li> <li>・外来草本の生育が3cm厚で良好であれば、それ以上の吹付厚さでの植生の差異はない。（施工2年間では）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地山への根の侵入余地の小さい法面や浸食の発生の予想される法面、乾燥の著しい法面での適用に適している。</li> <li>・但し、外来草本の播種量を木本類や郷土草本が被圧されない程度まで抑える必要がある。（この播種量はまた、立地条件、吹付厚さ等により異なる。）</li> <li>・寒冷地の秋～冬期施工においても適用可能である。</li> </ul> |
|                   | 客土工（25cm厚）               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・播種した木本類や郷土草本の生育は極めて良好であり、2年後にはカバノキ科木本はH=2.0m、マメ科木本はH=1.0mの群落を形成した。</li> </ul>                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・良質な客土層を25cm厚程度にできれば、木本類や郷土草本の導入は容易であるが、造成可能な場所は平坦地に限られ土壌の入手やコスト的な面でも制約は多い。</li> </ul>                                                                                          |

表-3-8 木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法の検討、提案及び留意点

| 項 目                | 区 分                                                                      | 試験結果から明らかになったこと（根拠）                                                                                                                                                                                                          | 緑化方法の提案及び留意点                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 種子配合<br>及び<br>導入植物 | 外来草本の播種量<br>（期待発生本数）<br>（今回の地域では<br>1,400～3,200本）                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・種子散布工、客土種子吹付工は左記播種量の範囲では外来草本は密生せず、木本類や郷土草本を被圧しにくい。<br/>（但し、客土種子吹付工2～3cm厚では、肥料養分、水分条件等が良好な場合は外来草本が密生する事がある。）</li> <li>・厚層基材吹付工（3～10cm厚）では、左記播種量では、外来草本が密生し、木本類や郷土草本は被圧される。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・厚層基材吹付工では、外来草本の播種量を減ずる必要がある。外来草本の期待発生本数300～800本程度が適当であると考えられる。</li> <li>・厚層基材吹付工での外来草本の生育が良好であるのは肥料養分（特に窒素分）が多いことによる。従って、外来草本の生育をコントロールするためには、肥料成分を調整する（窒素分を減ずる）ことも検討する。</li> </ul> |
|                    | 外来草本を混播しない配合<br>（在来草本+木本類）                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工当初の植生被覆は劣るが、施工1年後以降は草本、木本共に大型化し、植生被覆は向上する。</li> </ul>                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工後1年間は浸食が発生しやすいため、耐浸食性のある植生基材や金網張工を採用する。</li> </ul>                                                                                                                                |
|                    | 在 来 草 本                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ヨモギは成長が早く施工1年以内に生育のピークがあるが、メドハギ、ススキは施工1年～2年後になってから大型化し、生育草本の主体になる。</li> </ul>                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・メドハギ、ススキは外来草本が衰退後も良好に生育するため、外来草本との混播に適している。</li> </ul>                                                                                                                              |
|                    | 木 本 類                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハギ類木本は発芽は良好であり、外来草本の被圧にも比較的よく耐え、導入は容易である。</li> <li>・カバノキ科木本は、実施工での発芽率が極めて低く、発芽後の生存率も低い。</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハギ類木本は1種当り100～500本（期待発生本数）の範囲で設定する。</li> <li>・カバノキ科木本は1,000本（期待発生本数）以上の設定が必要である。また、導入の確実性が劣るため、木本類として単独の使用は避け、ハギ類木本との混播が望ましい。</li> </ul>                                            |
| 施 工 時 期            | 今回の冬試験地の<br>施工時期<br>3月（吉野川）<br>6月（宮 崎）<br>7月（倉 吉）<br>8月（渡良瀬川）<br>11月（新庄） | <ul style="list-style-type: none"> <li>・8月以降の施工では、外来草本を導入しても施工当年中には十分な植生被覆とならない。</li> <li>・11月施工では無植生で越冬することになり、耐浸食性の劣る工法種子散布工や客土種子吹付工1cm厚では、吹付基材が流失する。しかし、残存した木本類や郷土草本の導入できた工区もある。</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・できるだけ適期（4月～梅雨前）の施工が望ましい。</li> <li>・秋期施工でも耐浸食性の高い植生工種を用いれば木本類や郷土草本の導入は可能であると考えられる。但し、容先には外来草本が優占しやすく、外来草本の播種量の設定に注意すべきである。</li> </ul>                                                |
| 緑化基礎工              | φ2mm,50×50mm網目                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・金網張工は地山表層を安定化させると共に、植生基材や成立した植物の滑落を防止する。</li> </ul>                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・寒冷地、急勾配（45°以上）法面では必ず採用すべきである。</li> <li>・その他の箇所でも緑化の確実性は向上する。</li> </ul>                                                                                                             |

### 3. 3 今後の試験施工に関する検討

各試験地の施工2年後までの調査結果により、各地区の緑化上の問題点に対処できる緑化方法、木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法についてはおおまかな方向性は見い出せたと思われる。しかし、今回各試験地で行なった試験から導き出された結論の一部には各試験地の立地条件や試験後の気象条件、施工時期等一定の条件下でしか結論付けられない事項があった。また、厚層基材吹付工での外来草本の播種量等、試験の目的が果たされなかったためにさらに追試が必要な事項もあった。これら今回の試験での不明点、問題点を整理し、今後さらに試験施工を行う場合の留意点、試験項目の設定方法について検討する。

#### 3. 3. 1 今回の試験施工での不明点、問題点

今回の試験施工での主な不明点や問題点は次の2項目に要約できる。

①試験対象の地山が礫混り土が多く、種子散布工等最も簡易な工法でも緑化可能な立地であったこと。また、成立する植生を規定する自然条件（勾配、斜面の方位、微気象等）を全く考慮せずに試験地（又は工区割り）を実施していること。このため、立地条件毎の最適な植生工種が明示できていない。

②植生工種によっては、最適な種子配合が明示できなかったこと。（厚層基材吹付工、客土種子吹付工（有機質使用））

上記の①は植生工種選定の問題、②は種子配合の設定の問題といえることができる。しかし、今回の試験結果からこれらの選定基準があいまいにしか結論付けられなかった根本の原因は、緑化工によって成立する植生は植生工種や種子配合等の人為的行為と自然の諸条件との組合せによって決定されるものであるが、今回の試験結果は、その組合せのごく一部が現れたものでしかないということである。

人為的行為（緑化工）と、自然条件（立地条件）との組合せをモデル化すると次図のように考えられる。

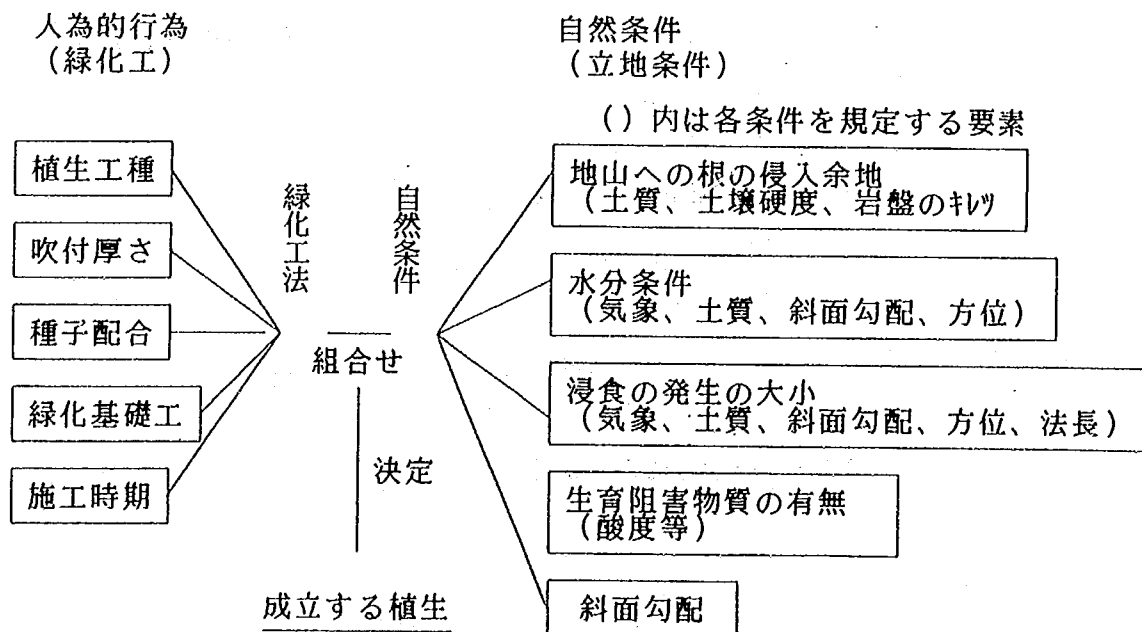


図-3・1 緑化工及び、立地条件と成立する植生との関係

従って、同じ種子配合を設定したとしても、植生工種と成立する植生との関係は単純な相関関係にはない。同様に、同じ植生工種を行ったとしても、種子配合と成立する植生との関係は単純な相関関係にはない。試験施工の計画及び評価に当たっては、この点に最も注意すべきであると考えられる。

### 3.3.2 今後の試験施工の方針

前項で述べたような今回の試験施工での不明点、問題点を考慮すると、今後の緑化工試験施工は、次のことを基本方針として計画すべきであると考えられる。

①数種類の立地条件別に各緑化工法の試験を行う。

②植生工種と種子配合の組み合わせを再検討する。特に厚層基材吹付工では外来草本の生育を抑制する。

#### 1) 立地条件の分類

今回の各地区での試験施工は、立地条件の相違を軽視してきたことを反省点とし、今後の試験施工では、数種類の立地条件別に試験施工を計画する必要があると考えられる。すなわち、実際的な施工地に最も出現しやすい立地条件の中から植生成立の結果に与える影響の大きい立地要素を抽出し、それらの組み合わせにより立地条件を場合分けし、各々の場合毎に緑化工法を試験する。

立地条件の場合分けに際しては、植物の生育に最も関係が深いと考えられる、①地山への根の侵入余地②水分条件(斜面の向き)③斜面勾配を主要な要素として用いることが適当であると考えられる。これら要素の分類は次のように考えられる。

#### ①地山への根の侵入余地

地山への根の侵入余地の大小により、植物の生育は大きく左右される。

一般に土壌硬度が25以上の地山では植物の根の伸長が著しく困難であり、また、地山が岩盤の場合はキレツの大小によって根の侵入余地が決定される。

根の侵入余地の大小は次のように分類することが適当であると考えられる。

- a. 大きい      ・ 土壌硬度25未満の土砂、礫交り土
- b. 中程度      ・ 土壌硬度25～35程度の土砂、土丹  
                  ・ キレツの多い軟岩
- c. 小さい      ・ キレツの少ない軟岩(風化花こう岩、凝灰岩等)  
                  ・ キレツのやや多い中硬岩、硬岩
- d. ほとんどなし      ・ キレツの少ない中硬岩、硬岩

#### ②水分条件(斜面の向き)

切取り法面を想定すると、湧水がない場合は法面の水分条件は法面の向きによって大きく異なる。このため、同一の植生工種、種子配合で施工したとしても法面の向きによって成立する植生は大きく異なることに

なる。

従って、試験施工を行なう場合は異った方位の法面で同様な試験を行なわなければ、試験結果を一般化することが困難である。

水分条件を斜面の方位によって分類すると次のように考えられる。

- |       |           |
|-------|-----------|
| a. 湿潤 | 北東～北西向き斜面 |
| b. 中間 | 東、西 //    |
| c. 乾燥 | 南東～南西 //  |

### ③斜面勾配

斜面勾配によっても植生状況は異なる。急勾配になる程植物の生育は不良となり、 $60^{\circ}$  以上では著しく不良となる。また、急勾配になる程吹付けた基材や地山は浸食を受けやすくなる。斜面勾配の分類は次のように考えられる。

- |        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| a. 緩傾斜 | $35^{\circ}$ 以下 (約15分)                |
| b. 中間  | $35^{\circ} \sim 51^{\circ}$ (15分～8分) |
| c. 急傾斜 | $55^{\circ}$ 以上 (8分以上)                |

上記の分類を総合すると、 $4 \times 3 \times 3 = 36$ 通りの立地条件の分類となる。実際の施工地ではさらに複雑に他の立地要素がからみ、これら立地条件の相違によって成立する植生状況は異なるものとなる。しかし、実際に試験施工を計画する場合はこれらすべての立地条件毎に試験区を設定することは困難であるため、立地条件の中から最も頻度の高く現れるもの、あるいは条件が中程度であり、その立地条件での試験から他の立地条件での結果が類推できるものを抽出し、立地条件を数種類に集約した上で試験を計画すべきであると考えられる。

## 2) 試験する緑化工法の選定

試験に用いる緑化工法の選定に当たっては、次のことに留意して行なう。

①植生工種及び使用材料は実施工において最も一般的に採用されているものを用いる。

(種子散布工、客土種子吹付工、厚層基材吹付工)

②種子配合は、外来草本、在来草本、木本類の混播とする。種子配合量は今回の試験結果を参考とし、各工種に対して最も適当と考えられた配合で行なう。外来草本の播種量は、種子散布工及び客土種子吹付工では前回試験と同程度とするが、厚層基材吹付工では大幅に減ずると共に、2段階の播種量を設定して適当な外来草本の播種量を見る。。

③厚層基材吹付工では窒素肥料の過剰のために外来草本が密生しやすいことが問題であったため、今後の試験では窒素肥料を抑制した肥料配合を試験する。

上記の点を考慮して、試験に用いる緑化工法を検討し、工法案(表-3・9)を作製した。

表-3・9 試験施工に採用する緑化工法

| 植 生 工 種   | 吹付厚  | 種 子 配 合                                                                                                                | 使 用 材 料               | 肥 料                                                      | 施 工 時 期                     | 緑 化 基 礎 工              |
|-----------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 種 子 散 布 工 | —    | 外来草本<br>1,500~3,000 本/m <sup>2</sup>                                                                                   | 養生材にファイバー使用           | 高度化成肥料                                                   | ①最適期 (4.5月)<br>②秋期 (10.11月) | 勾配35°以上では<br>金網張工を採用する |
| 客土種子吹付工   | 2 cm | 外来草本<br>1,000~2,000 本/m <sup>2</sup>                                                                                   | 黒ボク+有機質基材             | 緩効性肥料                                                    | 同 上                         | 同 上                    |
| 厚層基材吹付工   | 3 cm | 外来草本<br>① 300 本/m <sup>2</sup><br>② 800 本/m <sup>2</sup>                                                               | 有機質基材                 | 各吹付厚さ共に<br>①緩効性肥料<br>(今回と同様配合)<br>②窒素を抑えた配合<br>(PK化成肥料等) | 同 上                         | 同 上                    |
|           | 5 cm | 同 上                                                                                                                    | 同 上                   |                                                          | 同 上                         | 同 上                    |
|           | 7 cm | 同 上                                                                                                                    | 同 上                   |                                                          | 同 上                         | 同 上                    |
| 摘 要       |      | 全工種共に種子配合は<br>外来草本+在来草本+木本<br>とする<br>木本は合計で<br>ハギ類500~800本/m <sup>2</sup><br>カバノキ科1000~2000<br>本/m <sup>2</sup><br>とする | 最も広く行われている<br>工法を採用する |                                                          | 1回だけ施工の場合は<br>最適期が望ましい。     |                        |

※全工区数 = 12工区×2施工時期=24工区

### 3. 3. 3 今後の試験施工の実際的方法立案

試験施工はなるべく多種の立地条件で行なうことが理想的であるが、試験に適した場所が限られることや、経済性を考慮すると数種の立地に限定せざるを得ない。このため立地条件の設定は実際の施工地に頻度が高く現れる立地の中からできるだけ立地条件を代表するものを選定することが適当と考えられる。また、これから試験を行なう各々の立地に対しすべての植生工種を試験するのではなく、今回の試験結果を参考とし、各々の立地に適用可能と考えられる数種の植生工種だけを試験することが適当であると考えられる。

以上のことを考慮し、具体的に立地条件と植生工種との組合せについて、表-3・10が一案として考えられる。当案で根の侵入余地の大小により試験する植生工種を変えてあるのは、植生工種は主に地山への植物の根の侵入余地によって選定されるものであることによる。すなわち、根の侵入余地の大きい地山では弱酸性土等の特殊な場合を除いては厚層基材吹付工（5 cm厚以上）を適用することはまれであり、また、根の侵入余地の小さい岩盤では種子散布工での緑化は困難であることは明確であるため、これらの工種は省略可能であると考えられる。

施工時期は、施工適期（4月～5月）と不適期（秋～冬期）の2回行うことが理想的である。この場合は、同様な立地条件、緑化工法で実施する必要がある。

表-3・10 試験施工緑化工法と立地条件との組み合わせ（案）

| 緑 化 工 法     |                                           |       | 立 地 条 件     |            |            |            |
|-------------|-------------------------------------------|-------|-------------|------------|------------|------------|
|             |                                           |       | 勾 配 45° 前 後 |            |            |            |
|             |                                           |       | 根の侵入余地 大    |            | 根の侵入余地 小   |            |
| 植生工種        | 工 種 規 格                                   | 吹付厚   | 湿<br>(北向き)  | 乾<br>(南向き) | 湿<br>(北向き) | 乾<br>(南向き) |
| 種子散布工       | ファイバー類+肥料<br>外来草本 1,500~3,000本            | —     | ○           | ○          |            |            |
| 客土種子<br>吹付工 | 黒ボク+有機質基材+肥料<br>外来草本 1,000~2,000本         | 2cm   | ○           | ○          | ○          | ○          |
| 厚層基材<br>吹付工 | 有機質基材<br>外来草本 300本<br><br>肥料通常使用          | 3cm   | ○           | ○          | ○          | ○          |
|             |                                           | 5cm   |             |            | ○          | ○          |
|             |                                           | (7cm) |             |            | (○)        | (○)        |
|             | 有機質基材<br>外来草本 800本<br><br>肥料通常使用          | 3cm   | ○           | ○          | ○          | ○          |
|             |                                           | 5cm   |             |            | ○          | ○          |
|             |                                           | (7cm) |             |            | (○)        | (○)        |
|             | 有機質基材<br>外来草本 800本<br><br>N肥料減量 (1/2~1/3) | 3cm   | ○           | ○          | ○          | ○          |
|             |                                           | 5cm   |             |            | ○          | ○          |
|             |                                           | (7cm) |             |            | (○)        | (○)        |

※ 厚層基材吹付工7cm厚は地山の状況により設定する。（5cm厚では不足と考えられる場合）

※ 根の侵入余地の大、小はp128の分類による。

### 3. 4 今後の植生推移とそれに伴う課題

今回の緑化工試験地で行った緑化工法の評価に当たっては、導入した植物が順調に生育して目標とした植生になっているか、また、侵食の発生等ののり面の安定上の問題が発生していないか、という2点を主な評価基準としてきた。これらの点については施工2年後までの調査により、（施工された立地条件下での条件付きながら）、一応の結論は得ることが出来たと思われる。

今後は、現時点での植生がどのような推移を示すかに着目して長期的な植生推移を考慮した上での各緑化工の評価を行うことが必要であると考えられる。

この検討において、最終的な目標としては

- a. どのような植生植物群落が斜面の安定上、または景観上好ましいか。
- b. そのような植生を導入するためには、どのような緑化手法が適当であるか。また、その手法は施工地の立地条件によってどのように異なるか。

これらの点を解明するための第一段階として、以下の手順で検討を進めることが適当であると考えられる。

①試験施工地や実施工地の追跡調査を実施し、植生推移の実態に関するデータを収集する。

②①のデータを検討し、植生推移を左右する要因、植生推移に伴う問題点を把握する。

この手順に従い、当節では今回の各試験地の植生推移についてまとめ、植生推移を左右する要因について考察し（3. 4. 1項）、また、今後の植生推移を予想することにより、それに伴う問題点について考察する（3. 4. 2項）。

#### 3. 4. 1 各試験地の施工2年後までの植生推移について

2. 1節においては各試験地の植生推移をまとめ、植生推移を種子配合毎にいくつかのタイプに分類した。当項ではこのように植生推移に違いが生じた原因について考察し、そのような植生推移を左右する要因を抽出する。

##### 1) 侵入植物主体型

当初は導入した植物の生育が不良であったが、施工2年後には周辺から植物が侵入し、植生被覆が回復しつつある推移を示す推移型である。

この型となっている工区は、新庄の種子散布工（全工区）、客土種子吹付1cm厚（5, 7工区）に限られる。

これらの工区に特徴的な状況としては次の点であった。

- ・吹付基材の流失によって導入植物の生育は当初から不良であった。
- ・施工された地山は礫交り土砂、キレツの多い軟岩である。
- ・法面の周囲は森林であり、植生が豊富である。

一般的に山地斜面に周辺から植物が侵入できる基本的な条件としては、

- a. 種子の供給があること、
- b. 植物が密生していないこと、
- c. 侵入植物の生育が可能な環境条件が備わっていること、

今回の試験地での侵入植物主体型の工区では、上記 a. b. の条件を備えており、c. の条件も金網張工を採用したことにより浸食の発生が少なかったこと、地山が比較的軟質であったことによって満たされていると考えられる。

以上のことから、緑化工施工地が侵入植物主体型の植生推移となる条件は、次のように考えられる。

- ①周囲からの種子の供給があること。
- ②導入植生が密生しないこと。
- ③侵入植物が生育可能な環境であること。（地山が安定、水分条件が良好、根の侵入余地が大等）

## 2) 導入種不良型

導入した植物が生育不良であり、かつ植物の侵入も少なく植生被覆の低いままで推移している推移型である。この型にある工区は吉野川（わらむしろ張工）の南向き法面、新庄（客土種子吹付工 1 cm 厚）6, 8 工区であり、いずれも種子配合が外来草本単播の工区である。これらの工区の特徴は、導入種の生育不良や立地条件（地山の状況、浸食、種子の供給）の面では前記の侵入植物主体型の特徴と同様であり、また、侵入植物の生育も少ないながらも見られることから、上記導入種不良型の工区は、侵入植物主体型の植物侵入速度が遅れているものであると考えられる。

一般に緑化工施工地で施工当初から導入種が不良となる原因は、次のことが上げられる。

- ①基材の流失による発芽不良
- ②乾燥による発芽、生育不良（南向き斜面に多い）
- ③地山に根の侵入余地がなく、基盤の厚みが十分でないための生育不良
- ④肥料不足、肥料切れによる生育不良
- ⑤選定植物の不適（立地条件への不適合）
- ⑥種子配合量の不足
- ⑦施工不良（基盤の硬度）

生育不良となる個々の原因は上記のように多数考えられるが、結局は施工地の立地条件に適合した植生工程や種子配合が適切に選定されていないことが多い。

## 3) 草本、木本、混生型

草本、木本を混播した種子配合の工区において、草本と木本が混成して生育し、木本が次第に大型化しつつある推移の型である。（表-2・1・10ではこの型はさらに植物の密度がやや低いもの（Ⅱ型）と、外来草本が優占しているもの（Ⅲ型）に分けて示している。）

この型には、新庄の1, 3, 5, 7工区を除いた他の全ての種子散布工、客土種子吹付工が含まれる。一方、厚層基材吹付工では、新庄、13, 15工区（①③配合）だけがこの型となっている。

草本、木本混成型は播種した植物が順調に生育しており、目標とした植物群落が形成されつつある状態であると言える。このような状況となっている要因としては次のことが上げられる。

①植物の発芽、生育にとって施工地の立地条件が良好である。あるいは適切な植生工種を適用されており、植物の発芽、生育にとって良好な環境が造成されている。

②草本、木本の播種量のバランスが適当であり、特定の植物だけ（特に外来草本）が優占する状況となっていない。

#### 4) 外来草本密生継続型

外来草本が施工当初から密生し、この状態が経年的に継続している推移を示す型である。木本類や在来草本の多くは施工当初発芽はするが、外来草本による被圧のために生育が著しく不良であるか、又は消滅している。

外来草本密生型は、厚層基材吹付工だけに見られ、新庄13、15工区以外の工区ではすべてこの型となっている。

このような状況となった原因としては主に次のことが考えられる。

①各試験地において施工法面の立地条件が、種子散布工でも植生導入の可能な箇所でも厚層基材吹付工が行われたため、植物の生育が過剰になりやすい状況となっている。

②厚層基材吹付工は肥沃な基盤であり、保水性も高いため、特に外来草本の生育に好適な条件を備えている。

③外来草本の播種量が上記の立地条件に対し過大であった。（期待発生本数最低1,400本/m<sup>2</sup>以上）

#### 5) 木本密生型

倉吉の天端で施工された客土工25cm厚+種子散布工（在来草本+木本類）のうち11工区だけに見られた型である。当工区は、種子配合が基本配合の4倍に設定されており、施工当年のカバノキ科木本（ヤマハシノキ、ヤシヤブシ）の発芽数が著しく多く、施工翌年の生育も極めて良好であった。このために、マメ科木本や在来草本は被圧されて生育不良となっている。基本配合の工区及び基本配合の2倍に種子配合を設定した工区、また種子配合は同様として（基本配合、基本配合×2、基本配合×4）土壌活性剤を施用した工区では全て草本と木本の混生した植生となっていることからすると、当工区でカバノキ科木本だけが極めて優勢であることは異常である。このような現象が生じた原因は不明な点が多いが、カバノキ科植物の高密度の発芽生育とそれに伴う同植物の他感作用（注）による可能性もある。

注）他感作用（allelopathy）植物体が出す代謝物質によって、他種または自らが発芽や成長の化学的抑制を受ける作用。

### 3. 4. 2 植生の推移に伴う課題

前項では、植生推移を5つの型に分類し、植生にこのような違いが生じた原因について述べた。この項では、それぞれの推移の型について今後どのような推移をたどっていくかを予想しながら、植生の推移に伴う問題点を抽出する。

#### 1) 侵入植物主体型

侵入植物の種類、密度共に年々増加し侵入木本が大型化している工区については、数年後には周辺斜面の植生に近い状況となっていると予想される。自然植生は植物の種類も多様であり、木本群落の林床においても草本類も成立していることが多く、斜面の安定上は最も問題が少ないと考えられる。従って、これらの工区に関しては植生の推移に伴う問題点は少ないと考えられる。しかし、施工2年後までのこの推移型の工区の中には、植生被覆のまだ低い工区があり、これらの工区では浸食の発生も予想され、現段階では斜面の安定に対する確実性はまだ高いと言えない。

#### 2) 導入種不良型

試験地で導入種が不良である工区については、上記の侵入植物主体型の植生の侵入が遅れている状況であると考えられる。これらの工区は、地山の浸食等の問題は発生しておらず、今後順調に侵入種が増加していけば問題は少ないと考えられる。しかし、今後も植被率が少ない状態が継続するようであれば、地山の浸食に伴う裸地の拡大やガリの発生等により法面が不安定化する恐れもある。

#### 3) 草本、木本混生型

施工2年後の植生状況としては、まだ草本類が主体である工区が多いが、今後は木本が大型化し、木本を主体とした植生となると予想される。ここで問題となるのは、木本の大型化に伴って樹冠が密閉された状態になると、下層に生育する草本類は光不足のために衰退し、部分的には裸地が発生する事もあり得ることである。導入した木本は全て落葉樹であるため、冬期には裸地が雨水にさらされることになり、浸食の発生も予想される。但し、実際に落葉樹の群落の地山に浸食の問題が発生した事例は特に認められていない。これは、木本の導入事例がまだ少なく、施工後の年数経過も浅いことにもよると考えられるため、今後の調査によりさらに検討していくべきことであろう。

また、導入した木本が密生した状態は長期間継続することが多い。(ニセアカシア林では60年以上継続している報告もある。法面緑化では導入したイタチハギが14年間継続している事例がある。) 一方では、草本を主体に導入した植生工施工地では施工後10年以上経過して周辺からの植物の侵入により自然植生に近い状況となっている事例もあり、この場合は木本類の人為的導入の可否が問われることにもなる。この点については、播種によって木本類の導入例がまだ少なく、年数も多く経過していない現状では十分な検討ができない。

以上、木本の大型化に伴う問題点として、次の2点が考えられた。

①下層植生の衰退、裸地化に伴う浸食の発生。

②導入した木本群落が長年月継続することによる植生遷移の遅滞。

#### 4) 外来草本密生継続型

現在外来草本が密生している工区でも、長年月のうちには植物が侵入し、次第に周辺植物に置き変わっていくものと予想される。しかし、どの程度の期間外来草本の密生が継続するかどうかは施工地の立地条件と生育基盤の耐久性（特に厚さ、保肥性）に左右される。立地条件は言い替えると周辺からの植物の侵入のしやすさということもでき、これは地山への根の侵入余地や種子の供給量により左右される。今後の植生推移の予想をこれらの要因により場合分けすると、次表のように考えられる。

表-3・11 植物の侵入しやすさ、基盤の耐久性別の植生推移

|                                                    | 基盤の耐久性（厚さ、保肥性）                                           |                                          |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                    | 大（厚層基材吹付工<br>5～10cm厚等）                                   | 小（種子散布工、客土種子吹付工1～3cm厚）                   |
| 植物の侵入しやすさ大<br>（地山への根の侵入余地が大きい、種子の供給量が多い、湿潤である等）    | 外来草本の優占した状態は継続するが、徐々に侵入植生に置き変わる。                         | 侵入植物は年々増加し、5～6年程度で侵入植物の方が優勢となる。          |
| 植物の侵入しやすさ小<br>（地山への根の侵入余地が小さい、種子の供給量が少ない。乾燥状態である等） | 外来草本の密生状態は最も継続しやすい。地山がキレツの少ない硬岩である場合は、吹付厚5cmでは植生は衰退しやすい。 | 生育基盤の肥効の衰え、損傷等によって外来草本は衰退し、場合によっては裸地化する。 |

上表において問題が発生しやすい植生推移は、外来草本の衰退に伴って侵入植物が増加せず、植生全体が衰退に向かう場合である。（植物の侵入しやすさ小、基盤の耐久性小の場合）この場合は主に生育基盤の耐久性に問題があると言えるが、この原因としては、設計吹付厚さの不足、基盤材料の耐浸食性や保肥性の不足等が考えられる。硬岩法面等で根の侵入余地のほとんどない法面の場合は、厚層基材吹付工で吹付厚さは最低7cmは必要とされる。

#### 5) 木本密生型

施工初期に密生していた木本は、樹木個体間の競争により密度は次第に減少するが、樹冠は密閉されたままであるため、下草の発達は不良のまま推移すると考えられる。従って、植生の推移に伴う問題点は、前記の草本、木本混生型で下草植生が不良の場合と同様に次の2点が考えられる。

- ①林床の植生が不良な箇所での浸食の発生
- ②木本の純群落が長年月継続することによる植生遷移の遅滞。

#### 6) 法面植生の推移模式図

施工2年後までの植生推移(3.4.1項)と、これを出発点としたきの今後(約10年後を目安)の植生推移を予想した結果をモデル化して図示すると、図-3・2のように考えられる。

今後の植生推移は、実際の施工地での植生推移を参考としているが、類推による部分もある。この場合、前提としていることは次の事である。

- ・導入した草本類(外来草本、在来草本)だけが優占した箇所では、数年後に衰退することもあり得る。
- ・導入した木本類や侵入植物が植生主体となりつつある箇所では、植生が退行することはない。
- ・導入した木本類が優占すると、周囲からの植物の侵入は遅れる。

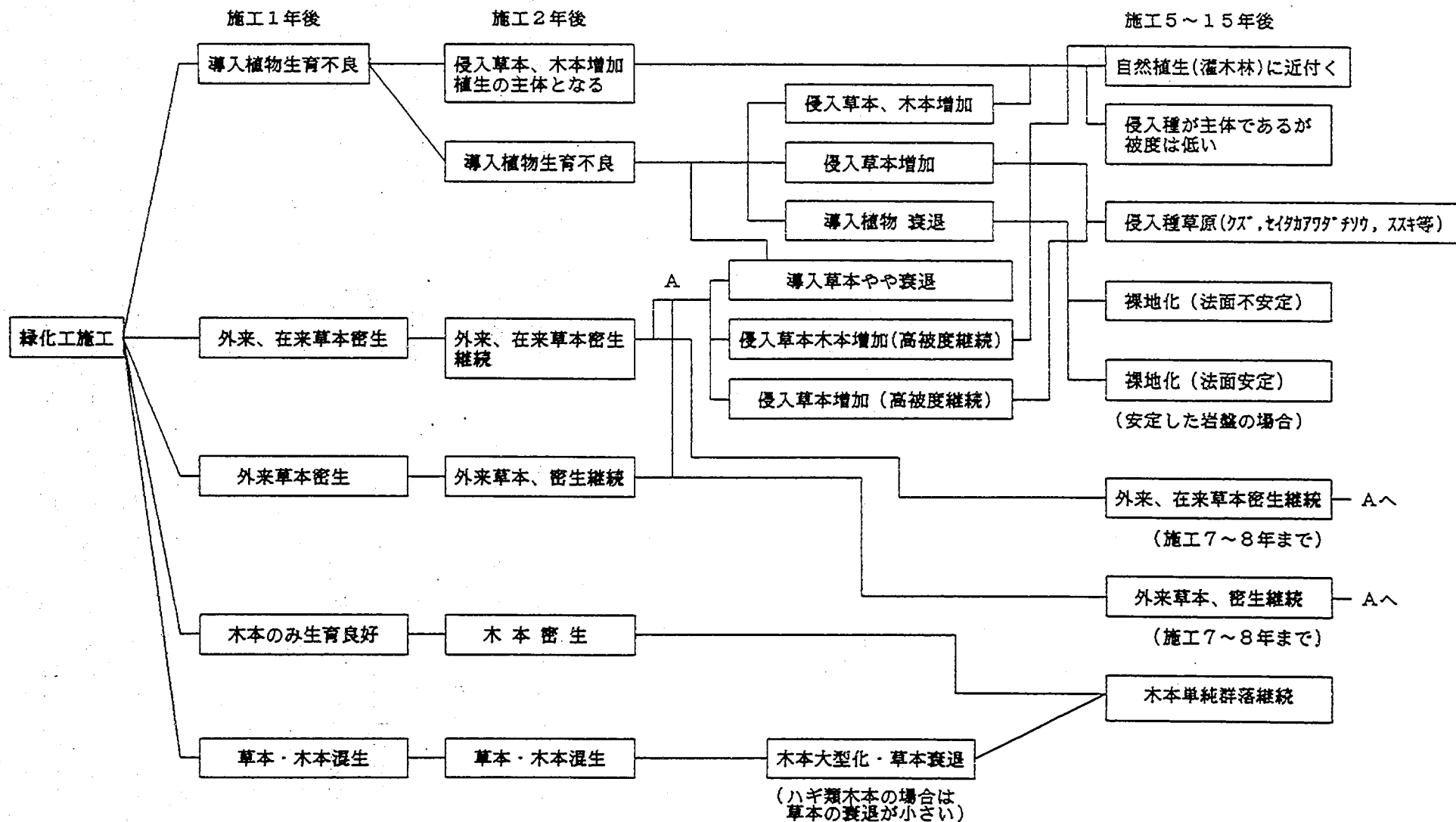


図-3・2 各試験地の植生推移を基にした植生推移模式図

### 3. 5 木本類及び在来草本の導入を図るための緑化工法の技術的課題

3. 3節では、実際の施工地では植物にとっての立地条件は多様であり、その立地条件の類型別にどの緑化工法が適切であるか検討されるべきであることを述べた。施工地の立地条件の把握とこれに適切な緑化工法を選定することなしには木本類及び在来草本の導入を図ることは困難であり、従ってこのことは技術的課題のひとつとも言える。しかし、この場合の緑化工法とは、あくまで現在行われている工法の意味に限定しており、もしもっと優れた緑化工法が開発されれば、広範囲の立地条件下で確実に木本類や在来草本を導入できることにもなる。そこで、この章での「緑化工法の技術的課題」としては、「現在行われている緑化工法を、木本類や在来草本をより確実に導入可能な緑化工法とするための課題」と位置付ける。

木本類や在来草本の導入が外来草本だけの導入に比較して不利な点は、外来草本は発芽や生育が多少不良であっても生育に良好な条件になると急速に伸長、分けつして地表を覆うことが可能であるのに対し、木本類や在来草本は発芽不良や生育不良が直接に導入の成否に影響する点である。さらに木本類や在来草本は、外来草本に比較すると発芽、生育の速度が遅いことや、自然条件の影響を受けやすく発芽、生育にばらつきが生じやすい等の問題があり、実施工においても導入の確実性は高いとは言えないのが実状である。この確実性を高めることが、木本類及び在来草本の導入を図るための主要な課題となっている。

木本類及び在来草本の導入の確実性を高めるための技術的課題は、大きく分けて、1) 発芽の問題と2) 生育上の問題がある。また、さらに多様性のある植物群落をつくっていく立場からすると、3) 導入植物が限定される問題がある。当章ではこれら3つの問題点毎に、現在の問題点及び課題について述べる。

#### 3. 5. 1 木本類及び在来草本の発芽の問題

##### 1) 低発芽率及び発芽のばらつき

木本類の種子は草本類の種子に比較して発芽率が低く、また採取時期や場所が異なると発芽率が異なる場合が多い。通常発芽試験は約1ヵ月を締切として行うが、木本の種子は数ヵ月、時には数年に渡って発芽するため、発芽率の真の評価は困難を伴う。

木本種子の発芽率を向上させるために人為的な発芽促進処理が行われる事がある。種子の皮を取ったり、冷水処理、温水処理等により発芽率をある程度向上させる事は可能である。しかし、この場合の発芽率の向上とは、播種後の早い時期に一斉に発芽することが多く、この場合は、一斉の発芽→一斉の枯死に到る危険を伴う。このように、木本種子は初期の発芽率の大小だけでの評価がむずかしく、このために適切な播種量の決定にも困難を伴う。

##### 2) 実施工での発芽不良、ばらつき

発芽能力のある木本等の種子を実際に緑化工によって播種した場合でも実際の発芽率は施工地の立地や気象条件等により著しい差が生じることが通常であり、発芽数を予測することは極めて困難である。

種子が発芽するためには、水分、温度、及び酸素が必要であるが、実際に問題が生じやすいのは水分であ

り、これには、現行の緑化工では覆土厚（基盤材中に埋没している種子から表面までの距離）の問題が関与している。

緑化工が施工される場所は通常はかなり急勾配の裸地であり、吹付けられた基盤は降雨がない場合には乾燥状態になりやすい。乾燥は基盤表面ほど著しくなるが、一方では木本類の種子は基盤表面に近い部分でしか発芽ができないという性質がある。木本類の多くは双子葉植物であるが、これら植物が発芽するためには種子のはい乳が双葉となって地表に出る必要があるため、厚い覆土がある場合は発芽できない。発芽可能な覆土厚さは、土壌の硬度によって異なるが、軽く締め固めた土壌（土壌硬度10～15）ではヤマハギ、イチハギで2～3cm、ヤシャブシでは5mmである。

ところが実際の吹付けでは高い耐浸食性が要求されるためにかなり固めの基盤（土壌硬度20～25）が造成されることが多く、木本種子が発芽可能となる表面層厚はかなり限定され、またそのために乾燥による発芽不良に陥りやすい。このような乾燥－覆土厚さの問題を解決するためには、柔らかくて保水力に優れ、しかも耐浸食性の大きな基盤材（又は工法）が望まれるのであるが、これら条件はまた相矛盾するものであるために実現には困難を伴う。

### 3.5.2 木本類及び在来草本の生育の問題

#### 1) 草本類による被圧の問題

各試験地で施工1年後の草本被覆率と木本の成立の可否との相関を調べた結果、ハギ類木本では施工1年後の草本被覆率が90%以上、カバノキ科木本では70%以上で生育不良となる傾向があった。この原因は外来草本が木本の実生を覆うために木本が光不足に陥るためであると考えられる。

草本類の過度の生育による被圧の問題を回避するためには、

a. 草本類の被覆率を60%程度におさえる

b. 背丈の低い草本を導入する

等の対策が考えられる。しかし、これらに対しても現状では次に述べる困難な問題があり、解決には至っていない。

a. 草本類の被覆率をコントロールすることは、草本類の播種量の調整や肥料分の調整により試みられているが、3.3.1項で述べたように、実施した工法（播種量も含む）と成立する植生とは単純な相関関係ではなく、両者の間には多くの自然条件が介在する。従って、施工地の立地条件（気象条件も含め）を完全に見極めていなければ草本類の被覆をコントロールすることはできない。

b. 背丈の低い外来草本の品種は今のところはないのが現状である。短い芝生用に成長点の低い品種が開発されてはいるが、（オリンピック等）刈り込み等人手を加えなければ従来種と同様な草丈となる。

一方、外来草本を播種せずに在来草本と木本類だけを播種することは外来草本による被圧の問題を回避するためには有効であると考えられる。倉吉工事においても種子散布工や客土種子吹付工での木本類の導入に成功している。但し、この方法を用いる場合、技術的には次の2点の問題があるため、実施工で用いられた例はごく少ない。

- a. 施工後1年間は植生被覆が低く、浸食が発生しやすい。
- b. 緑化工法の（立地条件に適した）選択を誤れば全く植生が成立しない事態もあり得る。

## 2) 乾燥による生育不良

外来草本においても施工箇所の水分条件によって発芽や生育が大きく左右され、特に南向き斜面や急勾配斜面では乾燥による生育不良が散見される。木本類や在来草本の場合も同様であるが、これら植物の場合は生育速度が遅いことや発芽数が絶対的に少ないことのために外来草本よりも乾燥の影響を受けやすい。実生の耐乾性は植物により差があり、実生が大型のイタチハギ、ヤマハギは比較的乾燥に強く、実生が小型のヤシャブシ、ヤマハンノキは極めて乾燥に弱い傾向が認められる。これら実生が小型である植物は前記のように、乾燥による発芽不良も著しい傾向にあるため、乾燥条件を緩和することが植物の導入の確実性を向上させるための主要な課題である。

吹付けた生育基盤の乾燥を防止するためには、次のような対策が考えられる。

- ①日射をさえぎる。（特に南東～南西向き斜面）
- ②生育基盤の保水性を高める。
- ③基盤表面からの蒸発を抑制する。（かつ雨水の浸透は妨げない。）

この中で現行の緑化工法で行われている対策は、②の事項であり、厚層基材吹付工に用いている有機質基材には、黒ボクや一般の畑土の約2.5倍（乾燥重量当りの含水量）の保水力を有する基材を用いている。しかし、実際の施工地ではこれでもまだ保水力が十分ではない場合が多く、今後は①、③の対策についても検討が必要であろう。

## 3) 根の侵入余地による生育の差異の問題

草本類、特に外来草本は吹付けられた基盤内によく根を発達させ、基盤の厚さ内だけでの生育が可能であるが、木本類は一般に吹付けた基盤内での生育は劣り、地山に根を張ってから急速に伸長する傾向がある。今回の試験地においても新庄では法肩に近く土質が土砂の部分でイタチハギが良好な生育を示しており、他の実施工地でも木本類の土質による生育の差異はよく認められる事である。実施工地での木本の成立箇所に注目すると、ほとんどが土砂又は根の侵入余地の大きい地山に限られ、キレツの少ない硬岩に成立した例はほとんどない。このことは、現在の緑化工法で木本を導入可能な箇所には限界があり、ある程度の根の侵入余地が木本成立の必要条件となっていることを示している。従って、現在の緑化工法で硬岩法面へ木本類の導入を計画する場合は、根の侵入余地に注目して木本成立の可否を見極めなければ施工後に生育不良問題が発生する確率が高いことになる。

また、根の侵入余地の少ない法面に木本類を確実に導入する必要が生じた場合の技術は現在では確立されていない。この問題に対処するために吹付基盤を厚くして根の発達を促進する事は有効とも考えられる。しかし、イタチハギ等マメ科植物は肥沃な基盤内での発育がむしろ劣る傾向もあることから、今後は導入する植物に適合した生育基盤の開発も必要であると考えられる。

### 3. 5. 3 導入可能な植物が限定される問題

木本類及び在来草本の導入を図る目的の1つは、開発によって植生の失われた箇所になるべく本来の自然に近い植生を復元することであり、そのためには多様な植物を導入できる技術の確立が望まれる。

しかし、現在の緑化工の技術で導入可能な木本は、イタチハギ、ヤマハギ、ヤシャブシ、ヤマハンノキ等わずかに数種類に過ぎない。

他の木本類の導入が困難な理由としては、次のことが上げられる。

#### 1) 種子の保存の問題

マメ科、カバノキ科等乾燥貯蔵が可能な種子は問題は少ないが、コナラ、ミズナラ、ブナ（落葉樹）あるいはシャリンバイ、ネズミモチ等（常緑樹）は乾燥すると著しく発芽率の低下する種子であり、適湿、冷暗所に保存する必要があるため取り扱いが難しい。

#### 2) 適用する緑化工法選定の問題

導入例の少ない植物では、現在行われている緑化工法で導入する場合の発芽や生育の特性が不明であり、使用材料、吹付厚さ、播種量等に関する基本的な手法も確立されていない。

緑化工で導入可能な植物の範囲を拡げることは、上記の技術的問題のほかにも種子の採取方法等運用上の問題もあり、研究、事業化の妨げとなっている。新しい緑化工法の開発には実際の施工地での試験結果を積み上げることが不可欠であり、上記1) 2)の問題に対処するためにも今後多くの施工事例やデータを集積していく必要がある。

砂防工事に係わる緑化工法に  
関する調査(Ⅲ)

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料第2947号  
1991年3月  
中村良光, 杉原忠弘  
工藤賢二

キーワード: 砂防工事, 緑化工, 試験施工, 植生工種, 木本, 在来草本, 外来草本

要 旨

本調査は、全国5箇所の緑化工試験施工地において、各施工地の立地条件に適した緑化工法の検討と、木本類導入をねらいとした緑化工技術基準作成の基礎資料収集のため、3カ年にわたる追跡調査結果をとりまとめたものである。

この調査結果をもとに、各施工地がかかえる緑化上の問題点に対処できると考えられる緑化方法、木本類及び在来草本の導入を効果的に行うための緑化方法を提案した。さらに、今後の植生の推移にともなう課題、木本類導入をはかるための緑化工法の技術的課題等についてとりまとめた。



郵便はがき

四十一円切  
手をはって  
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所  
急傾斜地崩壊研究室  
御中

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2947号                      部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印