

ISSN 1346-7328

国総研資料 第8号

平成13年12月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 8

December 2001

建設残土地盤上の空港着陸帯の植生技術に関する研究

高橋 修・八谷好高・坪川将丈・松崎和博・阿部 寛

A Study on Vegetation in Landing Strips of Airports on the Ground with Construction Waste Materials

Osamu TAKAHASHI, Yoshitaka HACHIYA, Yukitomo TSUBOKAWA
Kazuhiro MATSUZAKI and Hiroshi ABE

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

建設残土地盤上の空港着陸帯の植生技術に関する研究

高橋 修^{*}・八谷好高^{**}・坪川将丈^{***}・松崎和博^{****}・阿部 寛^{****}

要 旨

空港着陸帯およびその他空港基本施設の周辺には植生が施されており、空港舗装やターミナル施設等以外の地表面には広大な緑地が形成されている。これらの緑地、特に着陸帯の植生は、単に修景のためのもではなく、航空機を安全に運用するための地表材料として用いられている。わが国の空港では、植物種として主に芝草類の地被植物が施工されているが、その管理業務として年に数回の草刈りと刈り取った草の処分を行っている。この草刈り業務は主に航空機運航の安全確保、周辺に対する影響の防止、および美観の確保を目的に実施されているが、空港では植生の施工面積が広大であるため、植生管理に要する費用が多大なものとなっている。

本研究は、空港着陸帯等の制限区域内における植生技術の合理化を目的としたものである。ここでは、わが国の空港全般における植生の実状を調査し技術的課題を整理するとともに、東京国際空港に代表される建設残土地盤上の海上埋立空港を主たる対象にした数種類の植生試験を実施して、管理費を軽減するための新しい植生技術についてまとめている。本研究で得られた主要な知見は次のとおりである。

- 1) 多くの空港における着陸帯の植生管理については、費用ならびに業務の煩雑さの点でいくつかの問題点があると考えられる。
- 2) 雑草侵入による着陸帯の美観低下も指摘されていることから、その植生には被覆性に加えて、雑草侵入を抑制する機能も必要と考えられる。
- 3) 維持管理費を効率よく縮減させるには導入植物種を見直す必要があり、その場合、矮生でほふく性能に優れた植物種が望ましい。
- 4) 上記のものとしてイワダレソウが有望であり、これを主体とした植生は機械施工が十分に可能で、広大で平坦な空港着陸帯において問題なく導入できるものと考えられる。
- 5) 維持管理費を縮減するためには、建設時に矮生でほふく性能が優れた植物種を導入することにより比較的早い時期に地表面を密に被覆して、その後は雑草管理と導入種の生育管理のみに務めるという手法が考えられる。これは、トータルコストの点からも有利となる。

キーワード：植生、空港着陸帯、建設残土、維持管理、コスト縮減、グラウンドカバープランツ

^{*} 元港湾技術研究所土質部主任研究官

^{**} 空港研究部空港施設研究室長

^{***} 空港研究部空港施設研究室

^{****} 元港湾技術研究所土質部滑走路研究室

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：0468-44-5034, Fax：0468-44-4471, E-mail：hachiya-y92y2@ysk.nilim.go.jp

A Study on Vegetation in Landing Strips of Airports on the Ground with Construction Waste Materials

Osamu TAKAHASHI*, Yoshitaka HACHIYA**, Yukitomo TSUBOKAWA***,
Kazuhiro MATSUZAKI**** and Hiroshi ABE****

Synopsis

The vegetation has been conducted at landing strips and other areas around terminal facilities and pavements in airports, not only to provide the scenic view but to keep the safe aircraft operation. In most airports, turf grass is introduced as plant species, and the grass must be mowed and disposed several times in a year as the management practice. In the airport, this mowing work is mainly carried out for the purpose of ensuring the safe aircraft operation, preventing the effect for the circumference and keeping the scenery. The cost for such vegetation management is considerable since airports have the vast vegetation area.

This study deals with the rationalization of vegetation procedure in the restriction area such as landing strips with the purpose of reducing the vegetation related cost. The actual state of the vegetation in most airports is first investigated, then the technical problem is summarized, and the new vegetation technology for reducing the cost is finally proposed. This research was conducted for the sake of airports on the reclaimed ground with construction waste materials such as Tokyo International Airport, but the result might be applied to other airports. Main conclusions obtained in this study are as follows:

- 1) On the vegetation management of airport landing strips in many airports, some problems are found in respect of cost, work complication and the loss of scenic view by the weed invasion to the area.
- 2) To the vegetation, the function which suppresses the weed invasion in addition to the ability of covering the ground is required.
- 3) Plant species must be reexamined in order to reduce the maintenance cost efficiently. Of the species tested, *Lippia nodiflora*, which is excellent in the ability to keep the dwarf and to train, is prospective.
- 4) As the vegetation mainly including *Lippia nodiflora* can be conducted with using machinery, this is applicable to the vast airport.
- 5) As the vegetation procedure to reduce the maintenance cost, introducing the vegetation which is dwarf and easily trains at the facility construction is recommended. It results in that the ground surface is early covered thickly and the management of weed invasion and growth is considered afterwards. This might become an effective cost saving procedure for the vegetation.

Key Words: vegetation, airport landing strip, construction waste material, maintenance, cost reduction, ground cover plant

* Former Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Port and Harbour Research Institute

** Head, Airport Facilities Division, Airport Research Department

*** Researcher, Airport Facilities Division, Airport Research Department

**** Former Researcher, Geotechnical Engineering Division, Port and Harbour Research Institute

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 3-1-1, Nagase, Yokosuka 239-0826, Japan, Phone: +81 468 44 5034, Fax: +81 468 44 4471, E-mail: hachiya-y92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. 序 論	1
2. 研究の背景, 目的および概要	1
2.1 研究の背景	1
2.2 研究の目的	2
2.3 研究の概要	2
3. 既設空港における植生運用の実状	3
3.1 既設空港の植生に関する実態調査	3
3.2 東京国際空港における現地植生実験の経緯	6
3.3 東京国際空港の維持管理状況	7
3.4 植生技術に関する技術的課題のまとめ	7
4. 小規模植生実験による有効植物種の検討	8
4.1 空港緑地に適した植物種	8
4.2 建設残土の土壌分析と幼植物試験	9
4.3 野比実験場での小規模植生実験	10
4.4 小規模試験のまとめ	16
5. 中規模植生実験による検討	16
5.1 植生実験概要	16
5.2 実施方法	20
5.3 施工以後の気象条件	21
5.4 追跡調査	22
6. 新しい植生工の提案	33
6.1 新しい植生工の基本概念	33
6.2 経済性に関する検討	33
7. 結 論	34
謝 辞	34
参考文献	35

1. 序 論

空港の着陸帯およびその他空港基本施設の周辺には植生工が施されており、空港舗装やターミナル施設以外の空港地表面には広大な緑地が形成されている。これらの緑地、特に着陸帯の植生は、単に修景のためのものではなく、航空機を安全に運用するための被表材料として用いられている。わが国の空港では、植物種として主に芝草類の地被植物が施工されているが、その管理業務として年間に数回の草刈り等を実施している。この草刈りは航空機の運用における安全確保、周辺に対する影響の防止、および美観の確保を主な目的として実施されているが、空港では植生の施工面積が広大であるため、植生の管理業務に要する費用が多大なものとなっている。特に、東京国際空港では 300ha を超える緑地の草刈りを年に 3 回ないし 4 回も実施しており¹⁾、緑地面積が今後さらに拡大することからも、草刈りおよびその処分にかかる費用は空港全体の管理費を圧迫するものとなっている。また、多くの空港においては、刈り取った草は埋立や焼却によって廃棄物として処理されているので、環境保全の面からもその改善が求められている。

本研究は、空港着陸帯等の制限区域内における植生技術の合理化を目的として、運輸省港湾技術研究所（当時）が中心となって、平成 9 年度から実施してきたものである。平成 9 年度に関係者へのヒアリングと予備調査を行い、平成 10 年度から 12 年度までの 3 箇年で実質的な検討を行ってきた。本研究では、既往の検討成果やこれまでの実績に基づいて空港着陸帯の植生工として有望な植生仕様を検討し、いくつかの植生実験を行ってその後の生育状況を追跡調査した。そして、導入植物の生育状況、雑草の侵入状況、施工時および管理段階でのコスト等に基づいてそれぞれの植生仕様を比較、評価して検討を行った。植生実験は、これが基盤の造成状況や地域に大きく影響を受けることから、東京国際空港のような、建設残土を用いて地盤が造成された海上埋立空港におけるものを対象としている。

本資料は、これまでの研究成果として得られた知見を取りまとめたものである。まず、研究目的とその検討方法を示してから、空港植生の建設と管理についての実態調査に基づいた具体的な問題点を明らかにしている。次に、2 種類の植生実験を行って、その結果をコスト縮減、機能向上等多くの観点から分析・評価した。最後に、本研究で得られた知見に基づき、研究成果としての新しい空港植生技術の方向性について示している。

2. 研究の背景、目的および概要

2.1 研究の背景

空港制限区域内の緑地は、単に修景整備のために施工され維持されているのではなく、主に空港土木施設の一部として安全面、および機能面に寄与するために整備・管理されている。わが国の空港着陸帯においては、空港舗装の近傍には張芝が用いられ、それ以外の箇所には芝草の種子を数種類散布した播種工が施されており、基本的には芝草で全面的に被覆されている。

このような地表を緑化することの本来の目的は、航空機のプラストによる基盤侵食や飛砂を防止すること、およびオーバーラン等の緊急時における機体の支持と延焼を防止するとともに緊急活動が速やかに行えるようにすることであるが、施工した植物種や侵入してきた雑草類の生長が過渡になると種々の問題を引き起こすことになる。例えば、延焼の防止や緊急活動の円滑化といった当初の目的を阻害したり、美観の低下や周辺環境への悪影響を及ぼしたりする。そのため、空港着陸帯においては、維持管理業務として主に以下の目的で草刈りが実施されている。

- ① 消火救難活動を確保し、鳥害事故（バードストライク）等を防止して、航空機の安全運航を確保する。
- ② 鳥や昆虫、雑草種子類、および枯草等が周囲に対して悪影響を及ぼすことを防止する。
- ③ 美観を確保する。
- ④ 空港施設全体の整備の一環として実施する。

わが国の空港では、草刈り業務は年に数回実施されているが、多くの空港で何らかの問題を抱えている。詳細は後述するが、主にコストの点と業務が煩雑で長期化するという点からこれを改善したいとの要求が強いようである。特に、首都圏近郊に位置している主要空港では問題は深刻化しており、具体的に以下のような問題点が重要視されている。

- ① 刈取り作業に多大な時間とコストを要する。
- ② 刈り取った草類の処理に多大なコストを要するとともに、その処理方法に注意を要する。
- ③ 鳥害事故を誘発しやすい状況を形成する。

上記①と②のコスト面については、空港着陸帯面積が広大であり、さらに多くの空港で拡張が進められていることから、特に問題となっており、刈草の処理方法については、昨今のゴミ問題の深刻化を受けて、適切な対応が求められている。現時点においては、刈草の処理方法は堆肥化等の有効利用が図られているところであるが、都市部に位置する空港でそれが難しい場合は焼却あるいは

は埋立によって処理されている。しかしながら、廃棄物として処理するよりも堆肥化することのほうが有効であることは容易に理解できるが、コストの点や堆肥化したもののニーズの点でさらなる問題が残されているのが実状である。

また、草刈り以外の面でも、いくつかの課題が挙げられる。たとえば、鳥害対策への寄与や広大な空港用地の有効利用といった、これまでに考慮されていなかった新しい機能や付加価値の開発等についての検討は、十分にはなされていない。鳥害事故については、草丈が高すぎても、および低すぎても鳥類を誘導する要因となりうるようで²⁾、従来より適切な草丈が明確化されていないままにこの点を目的の一つとして草刈りが行われている。

このような状況にかかわらず、これまでの空港着陸帯の植生においては、空港建設時あるいは大規模な改修時に個々の空港で実施されている現地実験に基づいた検討のみが行われていたに過ぎない。多くの現地植生実験の全国レベルでの取りまとめ、新規技術に対する発案、新規植物種の適用性評価についてはほとんど検討された経緯がなく、これまでの緑化手法を伝統的に踏襲してきたのが実状である。たとえば、従来から運用されている洋芝は、わが国の気候条件や空港建設地盤の土壌条件に必ずしも最適な植物種ではなく、空港での運用における実状を考慮すると、適用条件に基づいた新たな植物種の導入や土壌改良の工夫（簡略化や効率化）などにより、コストおよび機能の改善が可能であると考えられる。

多くの空港の中でも、東京国際空港は、緑地面積も広大で、かつ大都市に近接していることから、このような問題点とその建設および維持管理において大きくクローズアップされてきている。

2.2 研究の目的

本研究の目的は、上記のような実状を鑑み、これからの空港植生技術の可能性と方向性を検討し、建設および維持管理が経済的で、空港着陸帯の緑地としてのグラウンドカバー機能*（新たな機能も含む）に優れた植生技術を開発することである。また、そのための基礎的資料として、これまで整理、分析されることがほとんどなかった全国各地の空港植生の実状を調査し、統一的に取りま

* 景観の形成や雑草侵入の抑制および法面保護等に役立つ植物種のうち、被覆性が優れているわりに草丈が低い種類を一般にグラウンドカバープランツと称する。空港植生に導入されている既往の芝草種や牧草はこのようなグラウンドカバープランツに属さないものと考えられる。

とめて東京国際空港と比較してみることも重要な課題の一つである。主な研究開発の目的を具体的に明記すると、以下のとおりである。

- ① 既設空港の着陸帯植生について、その運用状況を調査して把握する。
- ② 東京国際空港に代表される建設残土を用いて造成された海上埋立空港の着陸帯を対象として、新規建設および維持管理のコスト縮減を目指した植生技術を開発する。
- ③ グラウンドカバープランツとしての機能を向上させ、その効果を評価する。
- ④ 新たな機能、付加価値の可能性について検討する。

2.3 研究の概要

(1) 研究の内容

先述した研究目的に基づいて、本研究における具体的内容をまとめると以下のとおりである。

- ① 既設空港の植生に関する実状を広範囲に調査し、その技術的課題を整理する。
- ② 新たな植物種の導入や土壌改良の改善により、コスト縮減や機能改善の可能性を検討し、建設残土地盤への適用性を評価する。
- ③ 上記②の適用性の評価に基づいて選定された方法に対する実際的な知見を得るために、植生実験を実施する。
- ④ 本検討の総合的な成果として、東京国際空港をはじめとする建設残土地盤上の海上埋立空港の植生技術に対する方向性・考え方をまとめる。

これらの研究開発の項目に対する検討方法は次のとおりとした。①については、わが国の各地に点在する空港の管理者に対しアンケート調査を実施して情報を収集するとともに、東京国際空港における植生運用の実状をこれまで実施されてきた植生・緑化関係の実験および調査資料に基づいて評価し、両者の比較から東京国際空港が有する問題点とその背景について明確にした。植生は現地の状況（気象、土壌、環境履歴等の条件）に大きく影響を受けることから、②については、東京国際空港の立地条件と土壌条件に基づいた小規模な植生実験を実施し、その結果に基づいて検討を行った。これまで東京国際空港では沖合展開事業の第Ⅰ期と第Ⅲ期で植生実験を行っていることから、これらの成果を参考にしたうえで、既往の芝草にとらわれることなく、有望な植物種を多数取り入れた植生実験を計画して、新しい技術開発の方向性を検討した。③では、開発した植生技術を大面積の空港に対して適用していく場合の可能性について評価し、実

際的な知見を得るために中規模な植生実験を行って検討した。この場合においても、東京国際空港の地盤造成に使用されている建設残土を用いている。④については、以上の検討結果を総合的に取りまとめて、植生の合理化を図るための技術的方策を取りまとめている。以上の検討内容とその実施方法をまとめると表-1 に示すようになる。

(2) 研究のフロー

表-1 に示した各検討内容の実施フローは図-1 に示すとおりである。表に挙げた検討内容は平成10年度から平成12年度の間の実施しているが、その前後に予備調査と検討結果の評価（植生実験の追跡調査も含む）をそれぞれ行っている。植物の生育状況、および植生管理についての評価は、ある程度の期間における観察を要することから、特に植生実験の評価についてはその後も継続して検討していく必要がある。平成10年度から平成12年度にかけての①～④の内容が本研究の実質的なものであり、実際にデータを収集して新規の植生技術を検討している。

これらの検討内容は番号の順で実施しており、各検討項目はそれぞれ一つ前の項目の成果に基づいて実施計画を立案した。以下における本資料の取りまとめについてもこのフローに従って記述されている。

3. 既設空港における植生運用の実状

3.1 既設空港の植生に関する実態調査

(1) アンケートによる調査

わが国における各地の既設空港に対して広範なアンケート調査を実施し、空港植生に関する実状について情報収集を行った。調査対象の空港は表-2 に示すとおりで、全国の89空港（第4種空港の一部を除く）に対してアンケート用紙を送付し、そのうちの79空港から回答を得ることができた（回収率は89%）。

表-1 検討要領

No.	検討内容	検討方法
①	植生に関する実態調査 技術的課題の整理	アンケート調査 文献調査
②	対策の検討 現場適用性の評価	空港以外の実態調査 植生実験の実施 実験結果の評価
③	対策の選定 対策の検証	対策の選定 植生実験の実施 実験結果の評価
④	成果の総括 まとめ	研究の取りまとめ

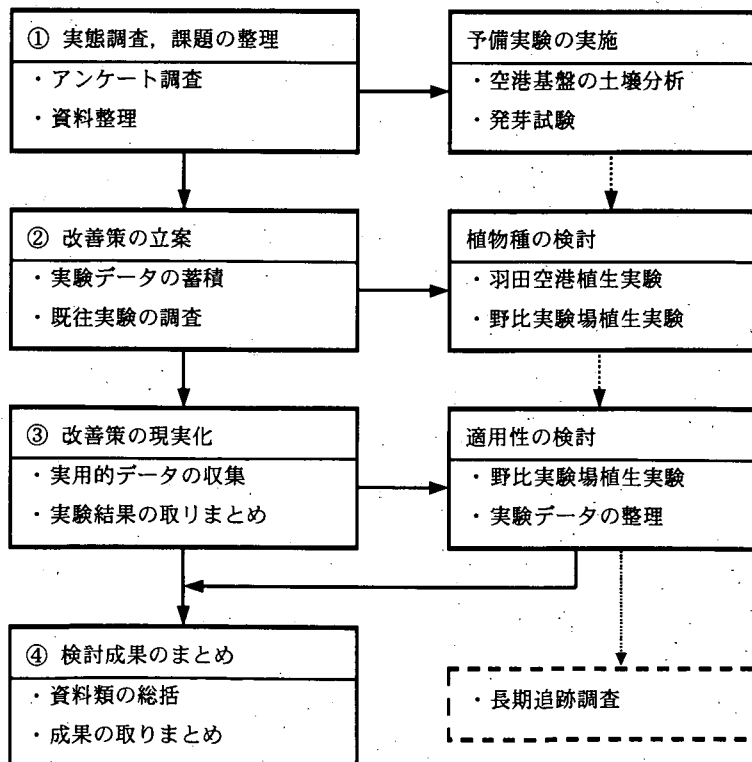


図-1 本研究のフロー

表-2: アンケート依頼先空港

第一種	第二種	第三種	その他
	秋田, 山形, 新潟	大館能代, 庄内, 佐渡, 富山, 福井, 松本	(小松)
東京国際, 新東京国際	仙台	青森, 花巻, 福島, 大島, 新島, 神津島, 三宅島, 八丈島	調布, (三沢)
大阪国際, 関西国際	八尾, 広島, 高松, 松山, 高知	南紀白浜, 鳥取, 隠岐, 出雲, 石見, 岡山	但馬, 岡南, 広島西, 徳島, (美保)
	福岡, 北九州, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島, 山口宇部	佐賀, 対馬, 小値賀, 福江, 上五島, 老岐, 種子島, 屋久島, 奄美, 喜界, 沖永良部, 与論	天草, 枕崎, 大分県央
	名古屋		
	新千歳, 稚内, 釧路, 函館, 旭川, 帯広	利尻, 礼文, 奥尻, 中標津, 紋別, 女満別	弟子屈, 丘珠, (千歳)
	那覇	粟国, 久米島, 慶良間, 新南大東, 北大東, 伊江島, 宮古, 下地島, 多良間, 石垣, 波照間, 与那国	
4	25	50	10 (4)

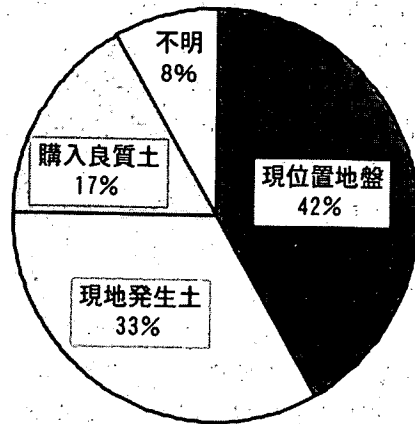


図-2 植生基盤材の割合

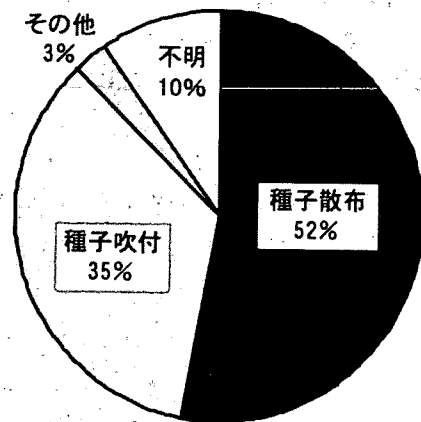


図-3 植生工法の割合

得られた回答を集計した結果を要約すると、以下のようになる。

i) 植生工の仕様

- ① 植生基盤の材料は 70%以上の空港で現地発生土を活用している (図-2 参照)。
- ② 客土を利用する場合の基盤厚は、10~20 cm と 20 cm 以上に分かれている。
- ③ 植生工法は種子散布が 50%程度で、種子吹付けが 35%である (図-3 参照)。
- ④ 土壌改良は 40%程度の空港で実施されているが、改良資材の投入量については根拠が不明確であった。
- ⑤ 導入植物種は主に芝草の数種混播で、東日本の空港ではホワイトクローバーの混播も多い。

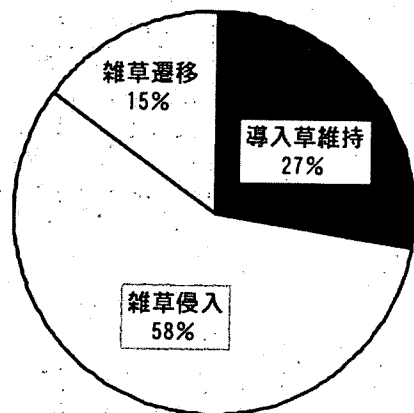


図-4 植生相変化の割合

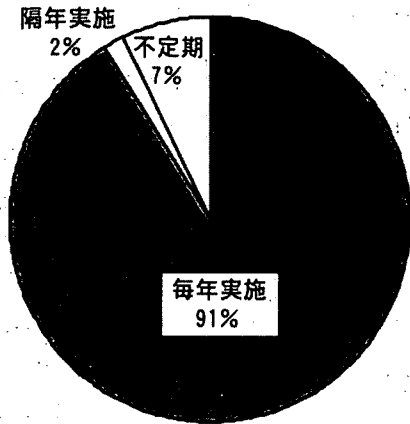


図-5 草刈り実施頻度の割合

ii) 着陸帯の植生状況

- ① 地表の被覆状況については、約 85%の空港で「良好」という回答であった。しかし、約 15%の空港で土壌侵食や植物衰退、美観低下の問題が指摘されている。
- ② 植物相については、70%以上の空港で雑草の侵入が問題視されており、そのうちの 15%が全面的に遷移している（図-4 参照）。
- ③ 60%以上の空港でバードストライクの発生が確認されており、対応策として鳥の駆除と威嚇が実施されている。

iii) 維持管理の状況

- ① 草刈りは 90%以上の空港で毎年実施されており、そのうち年に 2 回実施が 47%、3 回以上実施が 42%である（図-5 参照）。
- ② 刈草の処分方法は約 40%の空港で焼却または埋立処理で、約 60%でリサイクル利用されている。リサイクルの内訳は家畜飼料が 24 件、堆肥化が 12 件であった。（図-6、7 参照）
- ③ 草刈り以外の維持管理作業として、追肥（9 空港）、追播（5 空港）、薬剤散布（10 空港）等が実施されている。

iv) 今後の空港植生のあり方

- ① 今後のグラウンドカバーとして、56%の空港が「植生が望ましい」と回答し、42%が「植生に限らず有効なグラウンドカバー材料の利用を望む」という回答であった。
- ② 「植生が望ましい」という理由は、雨水浸透効果、美観、施工費安価、安全確保に有利というものであ

た。

- ③ グラウンドカバーとして植生以外を望む理由は、植生では、維持費が高い、維持作業が煩雑、バードストライクを誘発しやすいというものであった。

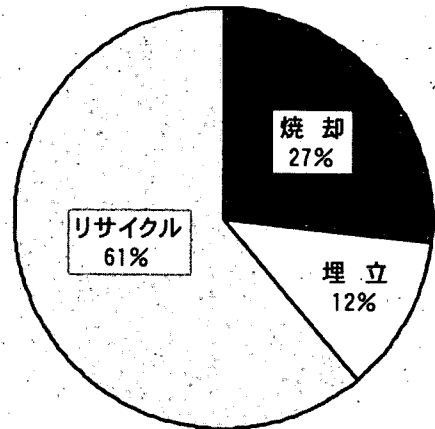


図-6 刈草処分方法の割合

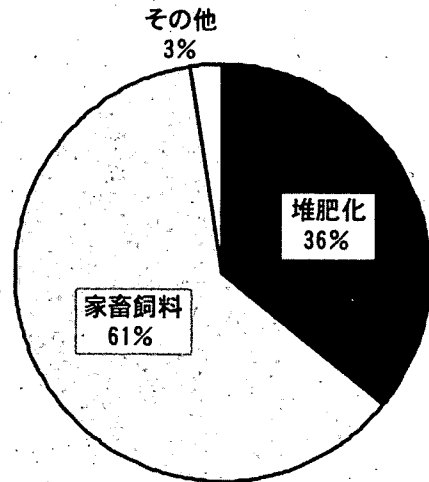


図-7 有効利用方法の割合

(2) その他アンケート以外の調査

アンケート調査以外にも、既存の調査レポート、実験等の報告書および研究資料を収集して、空港植生の実態調査を行った。その結果、以下の事項が知見として得られた。

- ① 植生工の仕様については、国土交通省の基準やマニュアル類はなく、道路や造園あるいは自治体等のものに準拠して、導入植物種や土壌改良仕様を決定している。

- ② 多くの空港で、空港建設時に現地の土壌条件と気象条件を考慮した現地植生実験を実施しており、その結果に基づいて植生工の仕様を決定している。
- ③ 積雪寒冷地のいくつかの空港で、凍結防止剤の影響による滑走路近傍部の植生衰退が確認されている。そのため、航空機プラストによる飛砂が問題となっている。
- ④ 沿岸部に位置していることによる塩害や火山灰質土壌における植生衰退も確認されている。
- ⑤ 各空港においては、標準草刈り回数を規定している。草刈りの管理基準としては、草丈が 30~100cm に成長したら刈取りを行い、刈込み高を 5cm とするものを標準としている。
- ⑥ 東京国際空港では刈草の処分方法が特に問題となっている。大阪国際空港や八尾空港でも刈草の処分方法が問題となっており、堆肥化（リサイクル利用）

のための検討が行われている。

3.2 東京国際空港における現地植生実験の経緯

東京国際空港沖合展開事業に伴う植生工は、表-3 に示すように第Ⅰ期からⅢ期（新 C 滑走路整備）まで、それぞれ異なる基盤土壌を対象としており、試験調査によって適切な施工仕様が設定されてきた。しかしながら、建設残土の土壌改良（堆肥、リン酸資材）および基肥投入量について、Ⅰ期工事における施工仕様とⅢ期新 C 滑走路整備時の調査で提案された仕様が異なっている。また、後者の仕様については、現地試験施工による確認が行われていない。

これらの植生実験の成果に基づいて、現時点における植生工の仕様は表-4 に示すとおりとなっている。植生基盤は現地発生土、すなわち建設残土を客土として用いている。

表-3 東京国際空港植生試験の経緯（土壌改良ならびに基肥投入量）

沖合展開事業	主な基盤土壌条件	試験期間ならびに主な仕様
第Ⅰ期	建設残土	試験期間：昭和 59~62 年度 仕様： 1) pH 中和： 硫黄粉末（本施工実施せず） 2) 土壌改良： 堆肥 (3.00kg/m ²), 熔成リン肥(0.25kg/m ²), 過リン酸石灰(0.29kg/m ²) 3) 基肥： 高度化成(0.07kg/m ²)
第Ⅱ期	良質客土 (黒土+赤土)	実施せず
第Ⅲ期 新 C 滑走路	低品質山砂 および 建設残土	試験期間：平成 6~7 年度 仕様：(低品質山砂/建設残土) 1) pH 中和： 過リン酸石灰 (0.5/3.30kg/m ²) 2) 土壌改良： 堆肥 (5.00/1.00kg/m ²) 3) 基肥： 高度化成 (0.20/0.20kg/m ²) ただし、現地試験は低品質山砂のみ

表-4 東京国際空港の植生仕様

工種	種類	施工量	備考
播種工	ベントグラスシーサイド	0.3g/m ²	4 種混合 種子吹付施工
	クリーピングレッドフェスクシンディ	4.8g/m ²	
	トールフェスクメサ	9.6g/m ²	
	ペレニアルライグラスサターン	4.8g/m ²	
張芝工	ノシバ	全面張	着陸帯近傍のみ
土壌改良	パーク堆肥	1.50kg/m ²	有機質改良剤
	過リン酸石灰	0.83kg/m ²	pH 中和改良剤

3.3 東京国際空港の維持管理状況

東京国際空港の敷地面積は約 1,300ha でその約 1/4 の 320ha で草刈り業務が行われている。東京国際空港では年に 3 回ないし 4 回の草刈りが実施されているので、草刈りの延べ面積は年間 1,000ha 以上ということになる。この場合の刈草の量は約 2,300t で、これらは焼却あるいは堆肥化によって処理されている。この堆肥化は社会的に望まれている処理方法であるが、コストや処理能力の面で問題が残されているために、現時点の処理量はあまり多くない。

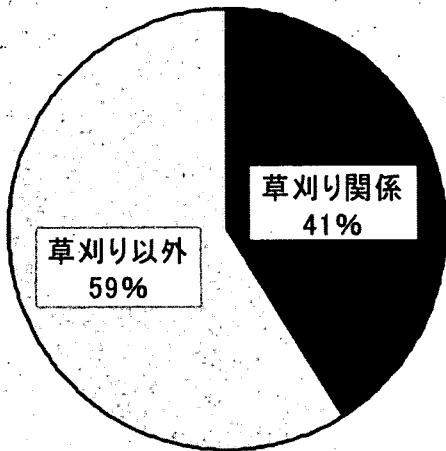


図-8 管理費に草刈り関係が占める割合

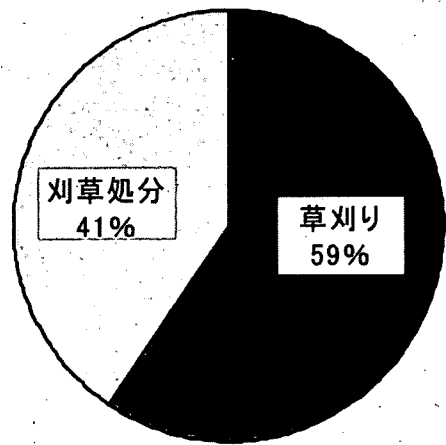


図-9 刈取り費と処分費の比率

東京国際空港の維持管理費全体に対して草刈り関係の費用が占める割合は 図-8 に示すとおりである。また、草刈り関係の費用のうち刈取り作業に要するものと処

分に要するものの比率を 図-9 に示す。東京国際空港の維持管理には多種多様な業務が行われているが、維持管理費全体の 40%以上も草刈り関係が占めており、その割合はかなり高いものとなっている。東京国際空港は都市部に位置しているために、廃棄するにしても、あるいは有効利用するにしても、刈草処分にかかる費用がかなり割高となっているのも、その一因であろう。

3.4 植生技術に関する技術的課題のまとめ

各地の空港における植生運用の実状を調査し、さらに東京国際空港での植生管理の経緯を検討して、わが国の空港における今後の植生技術についての課題を見いだした。

(1) 空港植生に対する一般的課題

わが国空港全般の植生技術に関する一般的な課題は、次のようにまとめられる。

i) 緑地造成・新規施工

- ① 導入植物種としては、当初見込まれている機能に加えて、維持管理および修景や環境についても考慮する。
- ② 凍結防止剤や塩害等が見込まれる場合には、植栽の育成環境も考慮する。
- ③ 原地盤や現地発生土を利用するために、土壌改良方法とその仕様について整備する。特に、建設残土、火山灰、リサイクル材を基盤とする場合について検討する。
- ④ 既存の施工法（種子散布、種子吹付け、張芝）以外の効率的な工法を検討する。

ii) 維持管理

- ① 雑草侵入の防止と植生相変化の回復手法を検討する。
- ② 既設植生の矮小化について検討する。
- ③ 刈草の効果的処理方法を開発、確立する。
- ④ バードストライクを誘発しない緑地管理方法を検討する。
- ⑤ 寒冷地における凍結防止剤による植物衰退の対応策を検討する。

iii) 機能評価・開発

- ① 緊急時における機体支持力、延焼防止機能について評価する。
- ② 雨水浸透効果を評価し、その改善方法を開発する。
- ③ 騒音低減効果を評価し、その改善方法を開発する。
- ④ その他、ヒートアイランド現象の抑制効果や、大気

汚染浄化効果等の可能性を評価する。

(2) 東京国際空港に対する課題

東京国際空港での植生管理の現状を踏まえ、この空港における植生工に対してより機能的、経済的な仕様を検討するために特に必要となる課題としては、以下のようなものがあると考えられる。

i) 建設残土基盤の適正な土壌改良仕様の設定

建設残土の土壌改良と基肥投入量について、Ⅰ期工事の施工仕様とⅢ期新C滑走路整備時の調査で提案された仕様が異なっており、後者の提案仕様については現地試験施工による確認がされていない。このことから、現地調査を行って両者を比較し、適正な仕様を設定する必要がある。

ii) 導入植生の改善による土壌改良の簡略化

土壌改良のみならず、導入植物の改善(耐アルカリ土壌、耐貧栄養土壌等)によって建設残土という厳しい植生基盤条件における空港植生機能の確保を検討する。これにより、土壌改良の簡略化がはかれることになって、より経済的な植生技術の開発が可能となる。

iii) 導入植物種の改善による維持管理の簡略化

既往の芝草類にとらわれることなく、草丈の成長が抑制され、かつ被覆性の向上が期待されるように、矮生^{*}でほふく性^{**}に優れた植生種の導入を検討する。この効用として、草刈り頻度の減少と刈草処分の軽減が期待される。刈り取った草類の処分については、堆肥化等によるリサイクルが最も理想的であるが、都市部という立地条件と堆肥化のための設備投資、および堆肥のニーズという点で多くの問題があり、現時点の東京国際空港では難しいと考えられる。ここでは、草刈りの回数を減らすことが、すなわち刈草の量を減少させることに直結しているので、草刈り回数の減少を目指すことが刈草処分の根本的対策であると考えた。ただし、今後ゴミ問題や環境保全に関する社会情勢が変化して、リサイクルの有用性が高くなれば、リサイクル化に向けた取組みが重要な技術的課題となる。

iv) その他

この他に特筆すべき課題として、融雪剤による植生被害の防止が挙げられる。融雪剤の影響によって滑走路に面した着陸帯の芝草が衰退してしまった事例が積雪寒冷

地のいくつかの空港で確認されている。

4. 小規模植生実験による有効植物種の検討

前章での検討により、既設空港の植生運用についての実状とそれに対する技術的課題を明らかにし、着陸帯の植生に必要とされる性質・機能を選定した。本章では、その選定条件に基づいて、既往の文献等を参考にして、海上埋立空港のような環境への導入に有望と考えられる植物種をまず選定した。

また、東京国際空港から植生基盤となる建設残土を採取して、その物理的および化学的性質について調査し、さらに幼植物実験を実施して植生土壌としての評価も行った。そして、これらの成果に基づいて、東京国際空港の建設残土に対しても発芽・活着して、かつ管理に手がかからない植物種を具体的に選定し、実際にそれらの植物種を東京国際空港の建設残土に施工して生育状況を調査した。この植生実験は、縦・横 2m 程度の植栽枱を多数使用した小規模のもので、東京国際空港と野比実験場の 2 箇所において実施した。

4.1 空港緑地に適した植物種

(1) 植生の条件

本研究には、新たな植物種の導入や土壌改良の見直しによってコスト縮減と機能改善の可能性を検討し、空港として必要なグラウンドカバー機能に優れた植生技術を開発するという検討項目が設定されている。したがって、東京国際空港および野比実験場での植生実験では、従来のグラウンドカバーとしての機能に加え、生育環境が建設残土基盤、海浜立地といった厳しい条件下であること、および将来の維持管理を含めたコスト縮減に寄与できることを念頭において植物種を選定する必要がある。空港緑地に導入する植物種の条件を列挙すると次のとおりである。

- ① アルカリ土壌に対する適応性が優れている
- ② 活着がよい
- ③ 耐塩性に優れている
- ④ 耐風、耐候性に優れている
- ⑤ 土質を選ばない
- ⑥ 病害虫に強く、その発生も少ない
- ⑦ 貧栄養土壌においても生育が可能である
- ⑧ 草丈があまり高くない
- ⑨ ほふく性に優れ、被覆度が高い
- ⑩ 施工後の生育が速く、雑草類の侵入が少ない
- ⑪ 年間を通して常緑である

* 植物の草丈が小さいこと

** 植物が地表をほうように生長する性質

- ⑫ 乾燥化や枯損がなく、延焼の危険がない
- ⑬ 施工が容易である
- ⑭ 維持管理が容易である
- ⑮ 大量入手が可能であり、安価である

(2) 植物種の選定

上記の選定条件に基づき、わが国の各空港、港湾においてこれまで実施されてきた植生、緑化関係の実験および調査の資料^{3)~8)}、技術報文^{9)~14)}、および施工基準^{15, 16)}等を収集し、検討を加えたところ、表-5 に挙げる植物種が海上埋立空港が置かれているような環境において適当であると判断された。ここでは、現在広く運用されている芝草類のみにこだわることなく、グラウンドカバープランツとして流通しているものについても候補として選定した。

4.2 建設残土の土壌分析と幼植物試験

(1) 東京国際空港建設残土の土壌分析

東京国際空港の基盤はその大部分が埋立てた浚渫ヘド口を改良したものであり、外部から運び込まれた土質資

材や人工的な改良材が多く使用されていることから、植物の生育に適しているとは考えにくい。事実、これまでの植生工においては、芝草が発芽して長い期間生育するように土壌改良を行っている。植生基盤の土壌条件は、植物の生育に多大な影響を及ぼすことから、以後の検討に対する基礎資料として把握しておく必要がある。

そこで、建設工事が進められている東側ターミナル整備地区から、基盤改良は終了しているが未だ整備が完了していない建設残土を3箇所て採取し、その物理的および化学的性状を調査した。その結果は表-6 と表-7 に示すとおりであった。表中の基準値は、植生工を行う場合の経験的な目安であり、一つの推奨値と考えられる。建設残土の物理特性は、試料採取位置によって多少異なっており、No.2 はおおむね良好な土質であるが、No.3 は細粒分が多くて水はけが悪く、植生土壌にはあまり適していないと評価される。化学的成分については、どの試料とも強いアルカリ性を呈しており、No.1 と No.2 は全窒素と有効リン酸が少ない土壌である。No.3 は電気伝導度が高く、塩素、ナトリウムが多い。

表-5 海上埋立空港のような環境下での生育が可能と予想される植物種

種類	区分	植物名
芝草	播種	シーサイドベントグラス、トールフェスク、クリーピングレッドフェスク、クリーピングベントフェスク、ペレニアルライグラス、アルカリグラス、ハードフェスク、バミューダグラス、コウライシバ
	張芝	日本芝、ノシバ、ミヤコ、パスパラム、ティフトン
グラウンドカバープランツ	地被類	イワダレソウ、アイスプランツ、マツバギク、ヘデラ類、ハマヒルガオ
	その他	ガザニア、ハマギク、セダム類

表-6 植生基盤の物理的性質

供試体 No.	有効水分 (l/m ³)	透水係数 (cm/sec)	粒径組成 (%)				土性
			粗砂	細砂	シルト	粘土	
1	48	1.2×10 ⁻⁴	33.0	38.7	18.9	9.4	SL
2	72	5.1×10 ⁻⁴	35.9	38.4	16.4	9.3	SL
3	49	4.9×10 ⁻⁶	5.7	58.9	23.2	12.2	L
基準値	80 以上	10 ⁻⁴ 以上	シルト、粘土等の微細粒子が多くないこと				

表-7 植生基盤の化学的性質

供試体 No.	全窒素 (%)	有効リン酸 (mg/100g)	交換性カリウム (me/100g)	交換性カルシウム (me/100g)	pH (H ₂ O)	電気伝導度 (mS/cm)	塩素 (%)	交換性ナトリウム (me/100g)
1	0.02	3.3	0.78	53.3	9.3	0.38	0.001	1.99
2	0.02	2.9	0.80	44.2	9.5	1.20	0.066	8.13
3	0.07	7.8	1.02	69.7	10.0	2.73	0.276	23.9
基準値	0.03 以上	5.0 以上	0.2 以上	5.0 以上	45~7.5	1.5 以下	0.04 以下	15% 以下*

*ナトリウム飽和度の基準

表-8 幼植物試験の植生土

種別	試験土種類	pH 中和改良剤 (量*)	有機質改良剤 (量*)
A	建設残土 (非改良)	——	——
B	建設残土 (改良)	過リン酸石灰 (0.8kg/m ²)	バーク堆肥 (1.5kg/m ²)
C	建設残土 (改良)	硫酸系中和剤 (240ml/m ²)	バーク堆肥 (1.5kg/m ²)
D	建設残土 (改良)	硫酸系中和剤 (240ml/m ²)	ココピート (7.5l/m ²)
E	建設残土 (改良)	硫酸系中和剤 (240ml/m ²)	汚泥コンポスト (1.5kg/m ²)
F	黒ボク土	——	——

* 基盤厚 15cm に対するもの。

(2) 東京国際空港建設残土の幼植物試験

以上の土壤分析の結果から、東京国際空港整備区内の建設残土は、アルカリ性が強く、有機質養分が乏しいため、植生基盤として使用するには適切な pH 調整剤と有機質改良剤による土壤改良が必要であることが確認された。次に、この建設残土を植生基盤材とする場合の植物の生育に関する基礎データを得るために、簡単な幼植物試験を実施した。

試験方法は次のとおりである。東京国際空港整備区内の3箇所から採取した試料に、pH 中和改良剤として過リン酸石灰か硫酸系中和剤を、有機質改良剤としてバーク堆肥、ココピートあるいは汚泥コンポストをそれぞれ混入し、評価用の改良土を用意した。それらにコマツナの苗を植えて草丈を4週間観測し、その生育状況を比較した。苗の草丈は週に1回測定し、4週間後の生育状況は地上部と地中部の乾燥重量で評価した。ここで使用した試験土の種類は表-8に示すとおりで、土壤改良の条件は無改良も含めると全部で5とおりであった。残土の種類が3つあるので、残土を改良した試験用植生土は15種類であり、参考のために良質土である黒ボク土についても苗を植えたので、植生土の種類は全部で16種ということになる。

表-9に草丈と生育度の測定結果を示す。各試料に対してサンプルを2ポット用意したが、表中の値はそれらの平均値である。No.3の建設残土を使用したものは発芽を認めることができたが、土壤改良を施したものも含めすべて生育せずに枯死してしまったので、この表には示していない。建設残土を使用したものは、黒ボクを使用したものに比べ、かなり生育が劣っているが、土壤改良の違いによってもその生育状況に差が見られる。No.1の残土の場合、Cの土壤改良を施した試験土で最も生育が良く、Bでは生育が悪かった。No.2についてはBとEの試験土で生育が良好であった。

したがって、No.1の残土では、改良剤として硫酸系中

和剤とバーク堆肥の組み合わせが有効であり、No.2の残土では、硫酸系中和剤と汚泥コンポスト、あるいは過リン酸石灰とバーク堆肥の組み合わせが有効と考えられる。いずれにしても、植生基盤材として建設残土を使用する場合は、建設残土の土壤成分に応じた適切な土壤改良が必要であることを確認できた。ただし、望ましい植生基盤の条件は、導入する植物の種類や現地の気象条件、環境条件によっても異なることが予想されるので、これらのことも併せて考慮する必要がある。

表-9 幼植物試験の結果

試料 No.	試験土	草丈 (mm)			乾燥重量 (g)		
		2週	3週	4週	全	地上	地中
1	A	47	75	154	0.400	0.362	0.038
	B	38	55	103	0.027	0.020	0.007
	C	40	80	171	0.988	0.929	0.059
	D	36	47	110	0.271	0.249	0.022
	E	35	68	123	0.733	0.700	0.033
2	A	36	65	110	0.124	0.118	0.006
	B	42	82	144	0.922	0.814	0.108
	C	31	70	133	0.735	0.660	0.075
	D	23	54	95	0.392	0.359	0.033
	E	38	80	160	0.940	0.857	0.083
F	102	178	205	2.258	2.167	0.091	

4.3 野比実験場での小規模植生実験

(1) 植生実験の概要

4.1で選出した海上埋立空港が置かれているような環境下において有望と考えられる植物種を建設残土基盤上に施工した場合の生育状況について、整備した植生基盤に選出した植物を導入し、その生育を調査することによって評価した。通常空港植生実験は、現地において、あ

る程度広い面積に対して実施されているが、ここでは、検討する植物種がかなり多く、追跡調査の項目と頻度も多いため、縦・横 2m 程度の植栽枡を数多く用いた小規模のものとした。なお、本資料では追跡調査のデータが充実している野比実験場での植生実験について内容を取りまとめた。

植生基盤は、野比実験場に縦・横 2m の植栽枡を図-10、写真-1 に示すように 20 個作製し、そこに東京国際空港から建設残土を搬入して造成した。この基盤に対して以下に示す土壤改良と植生工を施し、月に 1 回の頻度で被覆度や草丈等の追跡調査を行った。野比実験場は海岸に近接しており、環境条件については東京国際空港と大きな差異はないものと考えた。

(2) 土壤改良

4.2 で記したように、東京国際空港の建設残土を植生基盤材として用いる場合は、土壤成分に応じて適切な pH 中和剤と有機質肥料を用いる必要がある。ここでは、コスト削減が主たる検討課題の一つであることから、標準の土壤改良仕様とは異なり、肥料や pH 中和剤を省略したものを基準と考え、肥料と pH 中和剤の有無の組み合わせによる下記の 4 種類の土壤について検討した。

① 肥料と pH 中和材の両者とも加えない土壤（原土

壤）

② 肥料と pH 中和材の両者とも加える土壤（東京国際空港での標準土壤）

③ 肥料のみを加える土壤（改良 A 土壤）

④ pH 中和材のみを加える土壤（改良 B 土壤）

東京国際空港における既往の植生基盤と整合性を図るために、肥料としては有機質改良剤のパーク堆肥を、pH 中和剤としては過リン酸石灰を用いるものとし、混入量は、それぞれ、 1.0kg/m^2 、 1.65kg/m^2 とした。

植生基盤の土壤成分に関する検討を行うために、現仕様である播種用の西洋芝混播のみを用いた。この場合、各土壤条件に対して一つの枡を使用した（図-10 の①～④）。

(3) 導入植物種

表-5 に示した、海上埋立空港が置かれているような環境下に対して導入が期待できる植物種から、建設残土の土壤分析と幼植物試験の結果ならびに東京国際空港で実施した既往の植生実験に基づいて、本植生実験に導入するものを選定した。植生工の区分としては、播種工、張芝工、および株植栽工（グラウンドカバープランツのポット苗を植栽する方法）とし、それぞれの具体的な植物名は表-10 に示すものである。

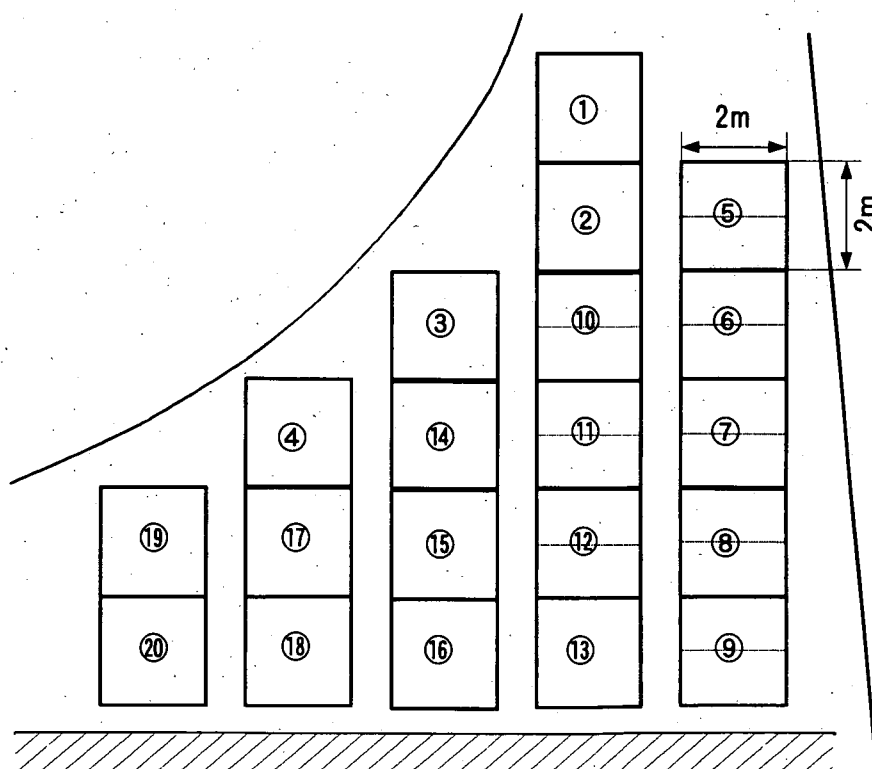


図-10 植栽枡配置図

植栽柁の面積と数を考慮して、播種工と張芝工の植物種については、植栽柁を2分割して使用し、評価においてある程度の面積を要する株植栽工の植物種については、一つの植物種に対して一つの柁を使用するものとした。すなわち、播種工の植物種については合計6個、張芝工の植物種については合計2個、ポット植栽工の植物種については合計8個使用した。なお、基盤土壌としては、肥料や中和剤を考えない原土壌とした。

表-10 新規導入植物種

No.	植生工	植物種の名称	空港	柁
1	播種工	クリーピングベントグラス		⑤
2		トールフェスク (メサ)	○	
3		クリーピングレッドフェスク	○	⑥
4		ペレニアルライグラス	○	
5		アルカリグラス	○	⑦
6		ハードフェスク	○	
7		バミュダグラス	○	⑧
8		ノシバ		
9		トールフェスク (ボンサイ)		⑨
10		トールフェスク (ジャガー)		
11		コウライシバ (ZEN100)		⑩
12		コウライシバ (ZEN300)		
13	張芝工	ノシバ	○	⑪
14		ミヤコ	○	
15		パスパラム	○	⑫
16		ティフトン		
17		イワダレソウ	○	⑬
18		ハマヒルガオ		
19		アイスプランツ		⑮
20		マツバギク	○	
21	株植栽工	ヘデラ		⑰
22		セダム		
23		ガザニア		⑲
24		ハマギク		

(4) 追跡調査

追跡調査の項目は、成立本数、被覆度、草丈、活力度、および雑草侵入状況である。各調査項目の評価方法と実施時期については表-11に示すとおりである。

この他に、基盤土壌の化学成分についても施工終了直

後と施工1年後に調査した。この植生実験の結果は、目視による生育状況の観察結果も加えて最終的に評価した。

表-11 追跡調査の内容

調査項目	調査方法	実施時期
成立本数 (本/m ²)	コドラート法*	施工後 2~3週間後
被覆度 (%)	コドラート法*	毎月 (冬期は隔月)
草丈 (mm)	自然高さ測定	同上
活力度	クロロフィル測定	適宜
雑草侵入状況	目視・写真撮影	毎月

(5) 植生実験の結果および考察

野比実験場での植生実験は、植生の施工が5月下旬に終了したので、6月中旬から発芽、活着状況をはじめとする追跡調査を開始した。表-12に播種工による芝草種における成立本数の結果を示す。芝草の成立本数の基準値は3,000本/m²であるが、現仕様以外の植物種については土壌改良を施していないので全体的に成立本数が少ない。

播種工と張芝工の芝草類、および株植栽工のグラウンドカバープランツに対する被覆度と草丈の測定結果を、それぞれのグループにまとめて図-11~21に示す(張芝種の被覆度は未測定)。

追跡調査結果を総合的に取りまとめると表-13に示すようになる(主要なものの状況については写真-2~9に示す)。以下では、土壌改良の簡略化と新規導入植物種の適用性の観点から、この評価結果について考察する。

土壌改良の方法については、測定結果と生育状況の視察により、施工後1年程度の間は肥料とpH中和剤の両方を施した標準仕様の②よりも中和剤のみを用いた④のほうが良好な生育状況であった。しかし、施工後2年目の秋ころから②と④では雑草の侵入が目立つようになり、芝草の衰退が認められた。

pH中和剤を施工しなかった①、③の土壌では発芽状況が不良で、結果的に被覆度も低いものであった。これらのことから、高アルカリ成分は初期の発芽と生育を阻害するものであり、建設残土のようなアルカリ土壌に対し

* 縦・横 50cm の正方形の柁 (柁内が糸で縦・横 10cm に区切られている) を各試験区に設置し、柁内の植生についてのみ調査を実施して、その値をもって試験区画の代表値とする方法

では肥料よりも pH 中和剤が重要であることが判明した。その反面、中和剤を用いると雑草の侵入と生育が旺盛で植生相の遷移が懸念されることにもなる。

表-12 芝草種の成立本数

No.	植生名称	成立本数
①	現仕様 (改良無し)	4336
②	現仕様 (肥料・中和剤)	7120
③	現仕様 (肥料のみ)	3264
④	現仕様 (中和のみ)	3248
1	クリーピングベントグラス	967
2	トールフェスク (メサ)	2800
3	クリーピングレッドフェスク	1872
4	ペレニアルライグラス	1200
5	アルカリグラス	64
6	ハードフェスク	624
7	パミューダグラス	4288
8	ノシバ	1408
9	トールフェスク (ボンサイ)	5104
10	トールフェスク (ジャガー)	4864
11	コウライシバ (ZEN100)	1040
12	コウライシバ (ZEN300)	1168

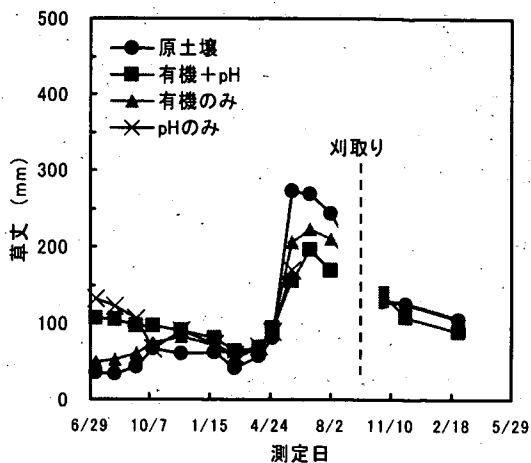


図-12 現仕様芝草種の草丈

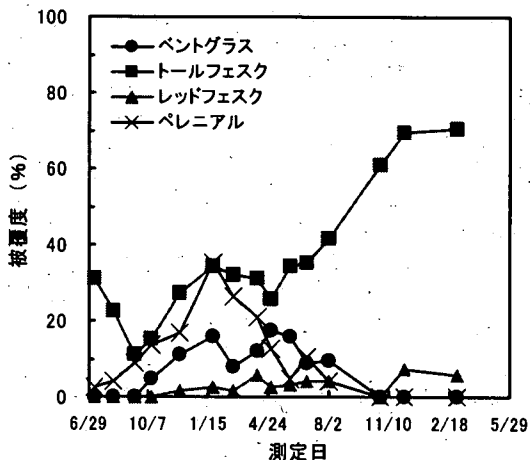


図-13 新規芝草種の被覆度 (その1)

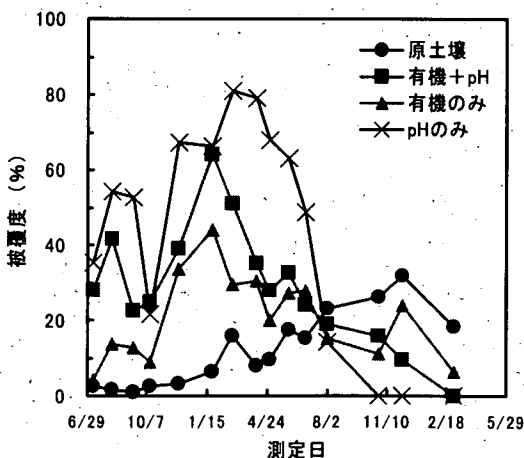


図-11 現仕様芝草種の被覆度

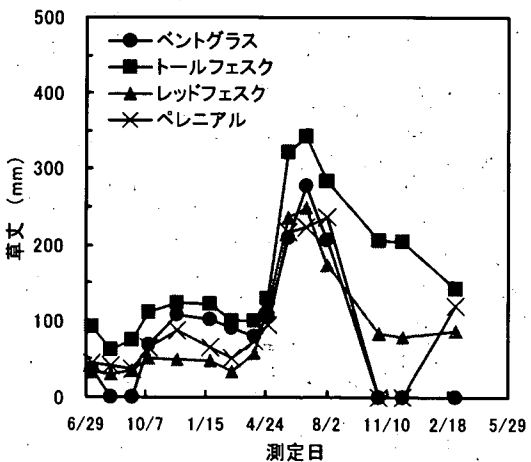


図-14 新規芝草種の草丈 (その1)

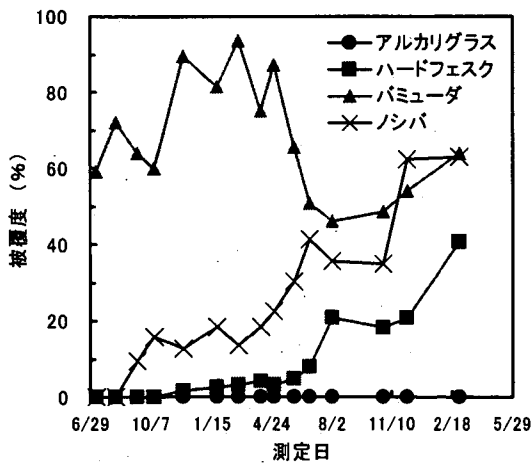


図-15 新規芝草種の被覆度 (その2)

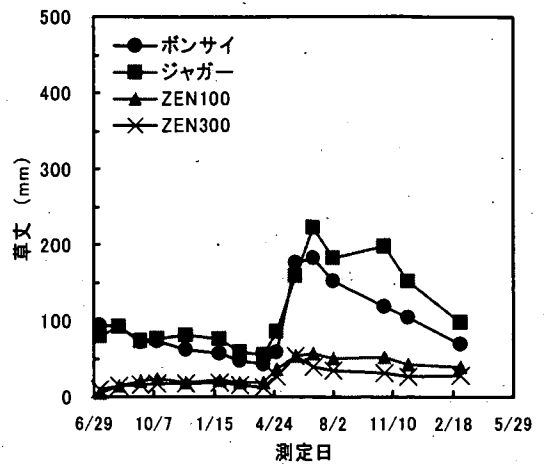


図-18 新規芝草種の草丈 (その3)

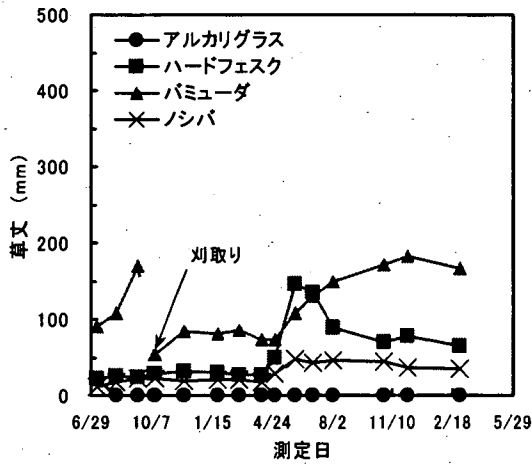


図-16 新規芝草種の草丈 (その2)

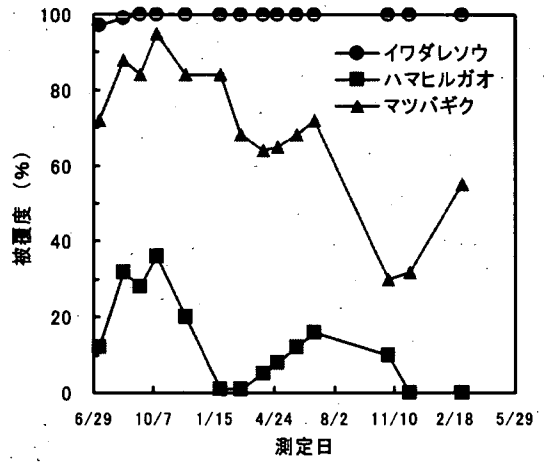


図-19 株植裁種の被覆度

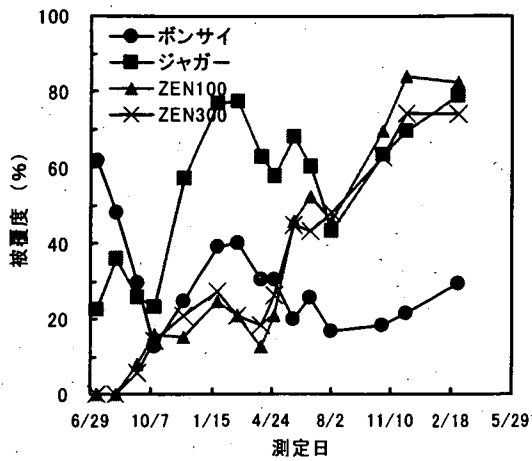


図-17 新規芝草種の被覆度 (その3)

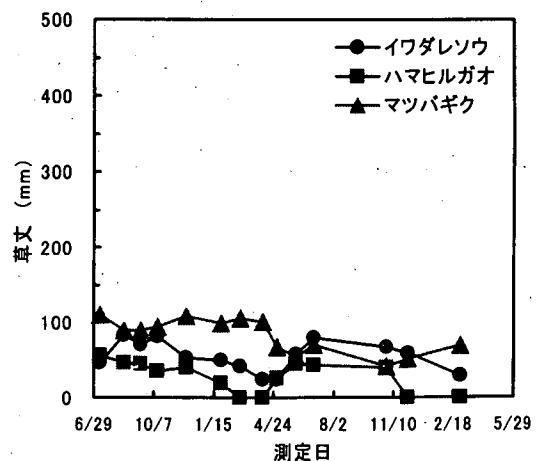


図-20 株植裁種の草丈

表-13 野比実験場植生実験の植物生育状況

No.	植生名称	発芽・葉張	被覆度	草丈	雑草侵入	総合評価	備考
①	現仕様 (改良無し)	△	×	△	×	×	発芽不良, 被覆度低
②	現仕様 (肥料・中和剤)	○	○	△	△	△	標準, 後に雑草侵入
③	現仕様 (肥料のみ)	△	△	△	△	△	被覆度低い
④	現仕様 (中和剤のみ)	○	○	△	△	△	良好, 後に雑草侵入
1	クリーピングベントグラス	×	×	○	×	×	発芽不良, 被覆度低
2	トールフェスク (メサ)	△	△	○	△	△	被覆度低い
3	クリーピングレッドフェスク	×	×	○	×	×	発芽不良, 被覆度低
4	ペレニアルライグラス	×	△	○	△	×	発芽不良, 被覆度低
5	アルカリグラス	×	×	×	×	×	ほとんど発芽せず
6	ハードフェスク	×	×	○	×	×	発芽不良, 被覆度低
7	バミューダグラス	○	◎	△	○	○	生育良好, 被覆度高
8	ノシバ	×	×	○	×	×	被覆度低い
9	トールフェスク (ボンサイ)	△	×	○	△	×	被覆度低い
10	トールフェスク (ジャガー)	△	○	○	△	△	発芽遅い, 被覆度中
11	コウライシバ (ZEN100)	×	○	○	△	○	良好, 発芽生育遅い
12	コウライシバ (ZEN300)	×	○	○	△	○	良好, 発芽生育遅い
13	ノシバ	△	△	△	○	△	生育良好, 拡大遅い
14	ミヤコ	△	○	△	○	○	生育良好, 拡大中
15	パスパラム	○	○	△	◎	○	密度高い, 拡大速い
16	ティフトン	○	◎	△	◎	○	密度高い, 拡大速い
17	イワダレソウ	◎	◎	◎	◎	◎	生育旺盛, 草丈低
18	ハマヒルガオ	△	△	○	×	×	被覆度低, 冬期枯損
19	アイヌブランツ	○	△	△	○	○	葉張速い, 生育良好
20	マツバギク	○	○	○	△	○	生育良好, 草丈低
21	ヘデラ	○	△	△	△	△	生育良好, 被覆度低
22	セダム	×	×	○	△	×	被覆度低い, 草丈低
23	ガザニア	○	○	△	○	○	被覆度良, 草丈中
24	ハマギク	△	△	△	△	×	冬季乾草化

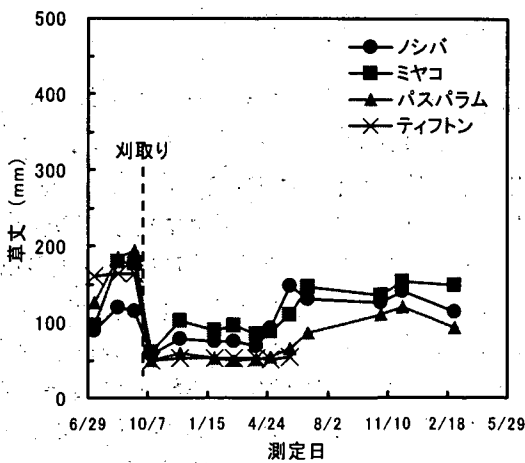


図-21 張芝種の草丈

これまで空港着陸帯への導入には実績がない新規芝草種の適用性については、当初の予想に反して良好に生育したものが少なかった。播種工の芝草類ではバミューダグラスが最も良好で、これは肥料や中和が十分でない貧栄養土に対しても速やかに発芽して被覆性も十分であった。その他については発芽が不十分で、結果的に被覆度が低く雑草の侵入が多く見られた。張芝工の芝草では現仕様のノシバよりも今回の導入種であるパスパラムとティフトンのほうがほふく性に富み、生育密度も高かった。

また、芝草類ではないがグラウンドカバープランツとして今回採用した野生草本種については、イワダレソウとマツバギクが非常に良好であった。特に、イワダレソウはほふく性に優れ、施工後 2 箇月で被覆度がほぼ

100%に達し、草丈も最盛期で 100mm 未満であった。それに準ずるものがマツバギクで、被覆度が若干劣るもののグラウンドカバーとしては十分な生育状況であった。これらの他にアイズプランツとガザニアもアルカリ貧栄養土に対して良好に繁茂する植種であった。しかし、成長による草丈や地被密度の点で着陸帯への適用は無理があると考えられる。

4.4 小規模試験のまとめ

東京国際空港の建設残土を対象に、空港着陸帯の植生工における土壌改良の簡略化について調査した結果、現仕様の芝草種に対しては pH 調整が重要であることが認められたことから、肥料の施工をかなり簡略化できるものと考えられる。また、新規植物種の空港への適用性については、播種工と張芝工の芝草類および株植栽工のグラウンドカバープランツにおいて、現仕様のものよりも有望な植物種を見いだすことができた。具体的には、播種工芝草ではバミュダグラス、トールフェスク、コウライシバが、張芝工ではティフトンが、グラウンドカバープランツではイワダレソウとマツバギクが良好であった。特に、イワダレソウは草丈が成長しない割にほふく性に優れており、空港着陸帯のグラウンドカバープランツとしてかなり期待できる植物種と評価された。

以上のように、土壌改良簡略化と新規導入植種の適用性について、有用な知見が得られたが、それぞれの課題も明らかになった。前者については、土壌調整後 pH の目標値の設定や導入植物種との関係についてさらに詳しいデータが必要である。また、後者については、特に、空港着陸帯の面積を考えると、ポット苗種であるイワダレソウの施工方法が問題であり、初期建設費を抑えるためには、機械施工のような効率的な施工法が必要であると考えられる。さらに、空港植生の植物種としては、草丈が高く生育しないことが必要な条件であるが、これに加えて雑草が侵入し難いことも必要とされる条件である。そのためには、早期における被覆性についても注目していく必要がある。

5. 中規模植生実験による検討

前章の小規模な基礎的植生実験により、既往の芝草よりも被覆性に優れ、かつ草丈が高く伸びないで、維持管理のコスト縮減が期待される植物種を見い出すことができた。しかしながら、これらの実験は小さな植生柵での小規模施工であり、実用において重要となる刈草量の比較や、雑草の侵入状況、植生相の遷移状況についてのデ

ータを得ることができなかった。本研究で目的としているコスト縮減と機能向上を可能とする植生技術を実際の空港に導入する場合に、これらの事項についての実データを収集し、明確な知見を得る必要がある。さらに、より現実に即した状況で検証するという観点からも、実際と同じ施工方法を用いた、より大きい面積での植生実験を行う必要がある。

以上のようなことから、比較的規模の大きい植生試験を実施した。この具体的な目的は次のとおりである。

- ① 小規模試験により選定した植物種を広い面積に導入した場合の生育状況を調査する。
- ② ①の調査に基づいて最終的に植生種を特定し、既往工法との比較を行ってその有効性を定量的に評価する。
- ③ 実際の場合と同一の施工方法によって植物を導入し、その施工性やコスト面についての知見を得る。

5.1 植生実験概要

(1) 植生基盤

植生実験の用地は、野比実験場アスファルトコンクリート西側の未整備地を整理して実験区を造成した。整備する前は、2箇所において 3~4m の高さで建設残土が堆積されており、さらにコンクリートやアスファルトコンクリートの廃材が仮置きされていた。また、付近一帯は雑草や竹藪で覆われており、実験用地を整備するには必要な部分においてこれらを除去した。実験用地の位置は図-22 に示すとおりで、54m×12m の矩形状に造成した。基本的には土の搬入は行わず、堆積している残土類は平らに敷き均して植生基盤を整形した。ただし、コンクリート等の廃材および大きめの石等はふるいを使って除去している。植生工を行う基盤表面付近は、表土の除礫と雑植物の除根を実施し、さらに既存植物の種子類や根の残存が危惧されたため、ガスバーナーを用いて表土を焙った。

造成完了時には土壌の物理特性と化学成分の分析を実施した。分析結果は表-14, 15 に示すとおりである。既存の建設残土は砂質土で有機質成分が少なく、また、透水係数がかかなり高いことから、排水不良の心配はないものの、有効水分がかかなり少なく水分枯渇が懸念された。化学的性質については、東京国際空港の建設残土ほどではないが、アルカリ性が高いことが認められた。電気伝導度がかかなり小さく、濃度障害の心配はないが貧栄養土壌であった。塩素による障害については問題がなかった。以上をまとめると、基盤材料は有機質成分が乏しく、保水力が欠如した土壌であり、アルカリ性の度合いもかな

り高いと評価された。そのため、植生基盤として使用するには土壌改良が必要であり、特に保水性能の改善が必須であった。そのため、基盤造成時に土壌改良用の資材として、繊維質保水材と高度化成肥料を原表土に混入させて植生基盤を仕上げた。

(2) 導入植物種

小規模植生実験において導入した植物種は、①芝草(播種)、②張芝、③芝草以外の地被類(グラウンドカバープランツ他)に大別される。これらのなかで張芝については、既往の植生実験の結果や実施工での実績に基づいて十分な知見が得られているので、本植生実験に導入する必要はないものと判断した。本実験においては、芝草種とグラウンドカバープランツを導入種とするものとし、具体的な植物種はこれまでの知見に基づいて表-16に示す6種類とした(播種量は1m²あたり)。

空港着陸帯の植生において重要な要件を再整理すると以下のようにまとめられる。

表-14 植生基盤の物理的性質

供試体	有効水分	透水係数	粒径組成 (%)				土性
			粗砂	細砂	シルト	粘土	
No.1	19	1.1×10 ⁻⁴	78.4	17.2	2.5	1.9	S
No.2	16	1.7×10 ⁻⁴	78.8	17.5	0.7	3.0	S
No.3	12	1.3×10 ⁻⁴	74.3	19.5	3.3	2.9	S
No.4	23	1.1×10 ⁻⁴	82.4	13.9	0.8	2.9	S
No.5	29	6.3×10 ⁻⁵	70.8	21.5	4.8	2.9	S
基準値	80 以上	10 ⁻⁴ 以上	シルト、粘度等の微細粒子が多くないこと				

表-15 植生基盤の化学的性質

供試体	pH (H ₂ O)	電気伝導度 (mS/cm)	塩素イオン (mg/kg)
No.1	8.4	0.08	20
No.2	8.5	0.08	40
No.3	8.6	0.07	40
No.4	8.4	0.08	40
No.5	8.4	0.12	50
基準値	45~7.5	1.5 以下	400 以下

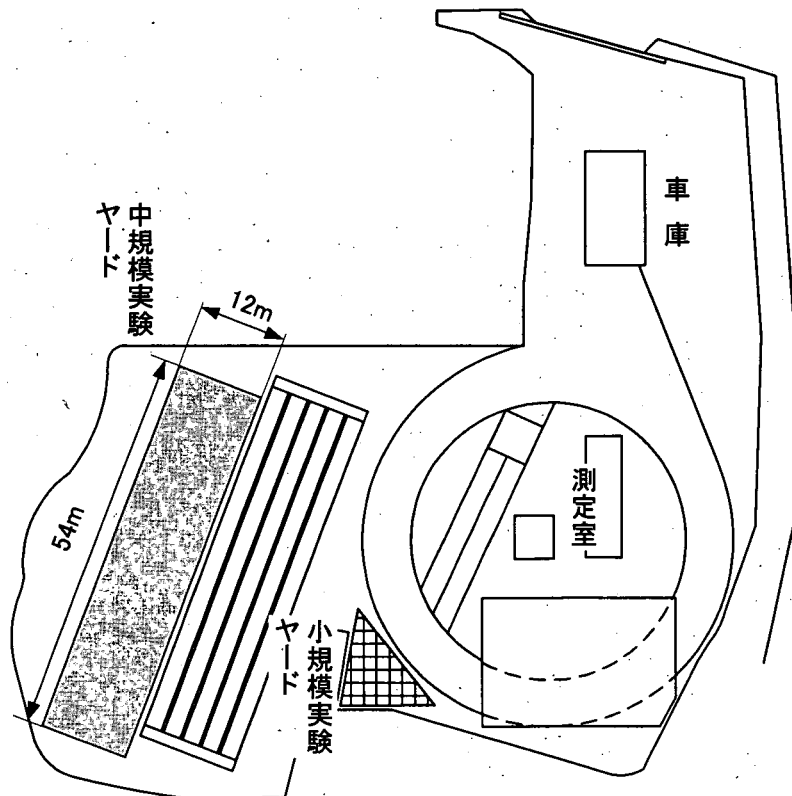


図-22 野比実験場平面図

表-16 導入植物種

分類	No.	導入種	播種量	混合種
芝草	1	現仕様混播き	26.11 (g/m ²)	クリーピングベントグラス 0.52g, トールフェスク 15.79g, クリーピングレッドフェスク 5.26g, ペレニアルライグラス 4.54g
	2	新規混播き	33.46 (g/m ²)	バミューダグラス・ミラージュ 0.96g, トールフェスク・ミック 18 12.5g, ノシバ 10.0g, コウライシバ ZEN300 10.0g
グラウンドカバー プランツ	3	マツバギク混植	30 (cell/m ²)	マツバギク 20 セル, イワダレソウ 5 セル, ツルマンネングサ (セダム類) 5 セル
	4	イワダレソウ混植 (標準)	30 (cell/m ²)	イワダレソウ 20 セル, マツバギク 5 セル, ツルマンネングサ (セダム類) 5 セル
	5	イワダレソウ混植 (粗植)	18 (cell/m ²)	イワダレソウ 12 セル, マツバギク 3 セル, ツルマンネングサ (セダム類) 3 セル
	6	イワダレソウ混植 (標準+種子)	30 (cell/m ²)	イワダレソウ 20 セル, マツバギク 5 セル, ツルマンネングサ (セダム類) 5 セル, マツバボタン 0.3g

- ① 植生工事完了後確実に発芽、活着し、速やかに地表を枝葉等で覆うこと、
- ② 長期において植生状況が安定していること（雑草侵入、植相変化がない）、
- ③ 鳥害の誘発や救急活動の妨げを引き起こさないこと（安全確保）、
- ④ 刈取り作業やその処理作業が煩雑とならないこと
- ⑤ 緑地としての美観に優れており、その葉緑期間が長期において維持できること

一般的には、①の要件と④の要件は相反するものであり、また①の要件と②の要件は密接に関連するものであることから、これら全ての要件を十分に満足し得る理想的な植物種を選び出すことは難しい。表-16 に挙げた植物種は、海岸域の環境条件でかつ貧栄養土壌でも生育するもののうちで、上記の要件をできるだけ満たす植物種という条件で、既往の検討結果に基づいて選定したものである。特に、①の要件は空港植生において基本的なことであり、④の要件は本研究の主目的であるので、これらの要件について重視している。

(3) 植生方法

通常の空港植生では、舗装の近傍は張芝であり、それ以外の着陸帯については種子散布によって芝草が施工されている。空港緑地は経済性と施工性を勘案して機械施工が基本であるため、舗装の近傍以外は種子散布が導入されているのである。

したがって、この植生実験では、機械施工性を考慮して導入植物種を選定した。表-16 に挙げた植物種のうち芝草類は既往の施工方法で導入できるが、グラウンドカバープランツについては基本的にはポット苗植えなので、

通常の導入法とは異なる手法を採用することにした。この工法は、写真-10 に示すような小型の苗（セル成型苗、以下セル苗）を肥料や基盤材と共に混合して空気噴射により植生基盤面に吹き付けるものである¹⁷⁾。施工状況は写真-11 に示すとおりで、特殊なエアブロー式攪拌装置を具備した吹付け機械と専用の噴射ノズルを使用して、施工能力はおおむね 1,000m²/日程度である。これは既往工法の種子散布に比べて施工性、経済性はともに劣るが、人力によるポット苗植え工法に比べると向上したものとなっている。

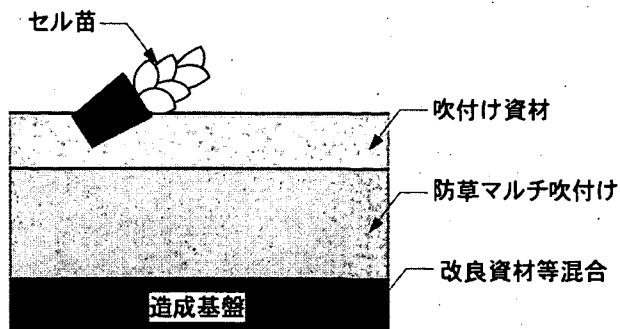
(4) 植生条件

グラウンドカバープランツについては、雑草類の侵入を抑える目的で植生基盤に特殊な改良資材を導入する植生工法も採用し、その効果について検討した。基盤条件としては、防草シートを植生下部に敷設する防草シート工法、特殊マルチング材^{*}をあらかじめ施工する防草マルチ吹付け工法、およびこれらを施工しないものとした。そして、防草シート工法以外に対しては、土壌処理型除草剤や肥料、改良材による基盤改良を施工する条件とこれらを全く施工しない条件も設定した。肥料、改良材については、現地盤の土質条件が粘土分の少ない砂質土であり、さらに空港植生であることを考慮して、ヤシガラ繊維質材を体積比で 15%、および高度化成肥料を 45g/m² (N:P:K=15:15:15) 用いることにした。さらに、基盤造成としてこれまで標準的に施工されている有機客土の吹付けも基盤条件の一つに加えた。

したがって、植生基盤の条件とそれらの概要をまとめ

* 雑草類の根が活着するのを抑制するために植生基盤の表面に形成する覆いのような層に使用される材料。生育しようとする植物の活着を阻害するものではない。

ると表-17に示すとおりである。防草シート工法と防草マルチ吹付け工法の施工断面を図-23、24にそれぞれ模式的に示す。防草マルチ吹付け工法では2種類のマルチング材を使用するものとし、B1はパルプを主材料とした肥料分を混入したものであり、B2は古紙が主材料で肥料分を混入していないものである。表中のA、B1、B2、Cの結果を比較することにより、防草シート工法あるいは防草マルチ吹付け工法の効果を評価することができ、C、D、Eの結果を比較することにより、基盤改良程度の違いを評価することができる。



※基盤改良には土壌処理型除草剤を使用しない。

図-24 防草マルチ吹付け工法の概要

表-17 植生基盤の条件

記号	特殊資材	改良	概要
A	防草シート工法	○*	造成基盤上に防草シート、基盤安定ネットを敷設し、改良土を25mm敷き均してセル苗を吹き付ける。
B1	防草マルチ吹付け工法	○*	造成基盤の100mmを改良し、その上に2種類の特殊マルチング材を5mm程度吹き付け、さらにセル苗を吹き付ける。B1は主材料がパルプで、肥料分あり。B2は主材料が古紙で、肥料分なし。
B2			
C	非施工	○	造成基盤の100mmを改良して土壌処理型除草剤を散布し、その上にセル苗を吹き付ける。
D		×	上記において造成基盤の改良を施さない(手を加えない)。
E		△	吹付け植生工の標準仕様(客土吹付けのみ)。

注) * 基盤改良には土壌処理型除草剤を使用しない

表-18 試験区画の植生条件

記号	導入植物種	基盤条件	散水
1-C	現仕様芝草混播き	基盤改良のみ	○
2-C	新規芝草混播き	基盤改良のみ	○
3-A	マツバギク主体混植	防草シート工法	○
3-B1		防草マルチ吹付け工法(B1)	○
3-B2		防草マルチ吹付け工法(B2)	○
3-C		基盤改良のみ	○
4-A	イワダレソウ主体混植(標準)	防草シート工法	○
4-B1		防草マルチ吹付け工法(B1)	○
4-B2		防草マルチ吹付け工法(B2)	○
4-C		基盤改良のみ	○
5-A	イワダレソウ主体混植(粗植)	防草シート工法	○
5-B1		防草マルチ吹付け工法(B1)	○
5-B2		防草マルチ吹付け工法(B2)	○
5-C		基盤改良のみ	○
4-D	イワダレソウ主体混植(標準)	基盤改良なし	○
4-E		客土吹付け	○
6-D	イワダレソウ主体混植(種子有)	基盤改良なし	○
6-E		客土吹付け	○
4-C'	イワダレソウ主体混植(標準)	基盤改良のみ	×

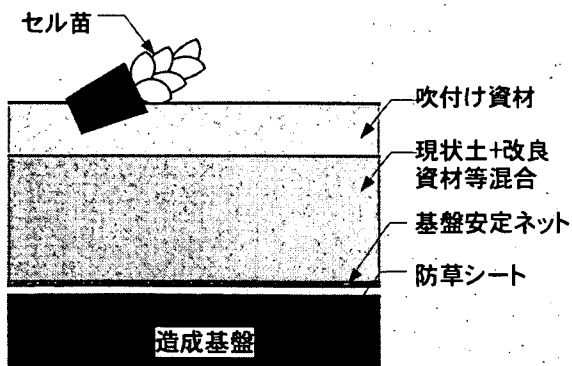


図-23 防草シート工法の概要

植生条件としては以上の基盤条件と植物種を組み合わせることになる。まず、芝草類については、特殊資材を施工しない基盤条件(C)のみとし、グラウンドカバープランツについては防草シート工法(A)、防草マルチ吹付け工法(B)、および基盤改良のみ(C)の基盤条件で植生した。土壌処理型除草剤等による改良を施さない基盤(D)は、改良による効果を確かめることを目的に使用されるので、

標準的な植物種であるイワダレソウ混植のみに適用した。すなわち、イワダレソウ混植については、A～Cに加えて、Dと標準仕様の客土吹付け条件(E)についても検討した。

今回試験に用いたセル苗吹付け工法においては、10日間程度の散水養生を必要とすることが課題の一つとして挙げられる。これは、コスト削減のためには改善が必要となる点であるので、散水養生の簡略化を検討するために、試験区画の近傍に散水養生を施さない区画(4-C')を設けた。この区画については、吹付け施工の翌日にだけ散水し、それ以後は散水しなかった。

各植生区画に記号を付けて、施工する導入植物種と基

盤条件の組合せをまとめると表-18に示すようになる。表中の記号は、表-16に示した植物種No.と表-17に示した基盤条件記号を組み合わせたもので、試験区画の植生条件を表すことになる。これらを造成基盤の平面図と対応させて表すと図-25に示すとおりである。

5.2 実施方法

本植生実験は大別して、植生基盤を造成する準備、区画を整備して種子あるいはセル苗を基盤に吹き付ける植生、その後の活着状況・生育状況を評価する追跡調査の3段階からなる。各段階の項目、内容、実施日は表-19に示すとおりである。

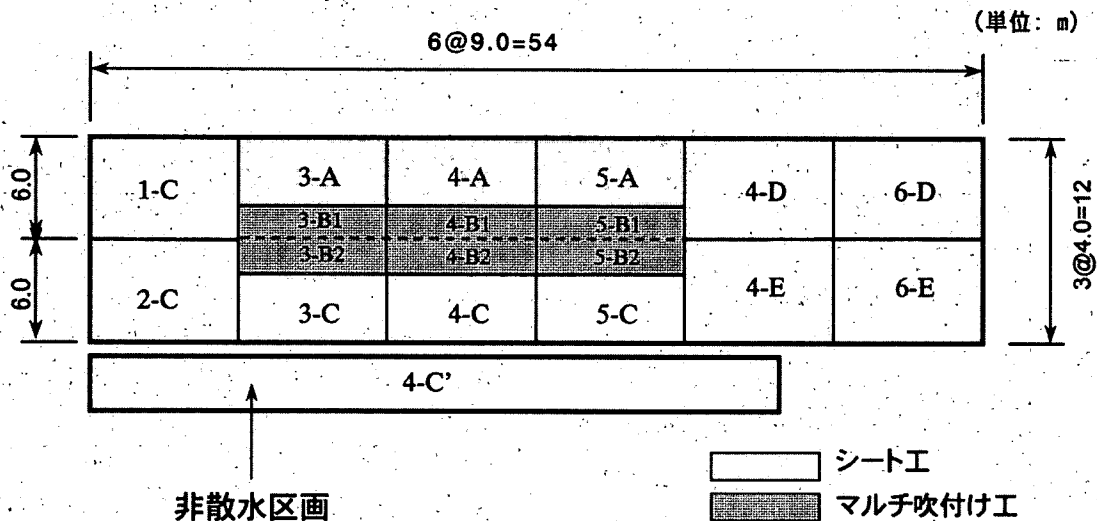


図-25 試験区画の配置図

表-19 実験の概要

種類	項目	内容	実施日
準備	除草・伐開	雑草類の除去 埋土種子の処理	6/12~14
	不陸整正	重機により基盤を造成	6/12~14
	耕起	植生ができるように基盤を耕起、攪拌	6/15~17
	除根・除礫	礫、植物根等狭雑物除去	6/19, 20
植生	基盤改良	有機質改良剤、pH改良剤を散布、攪拌	6/21
	整地	不陸整正、転圧を行い、植生基盤を整備	6/22
	植生施工	種子散布、苗吹付けを実施	6/26, 27
追跡調査	追跡調査	活着後、生育状況を定期的に測定	毎月

(1) 準備

この段階では、図-22 で示した植生実験の実施位置において繁茂している雑草類と竹藪を排除し、大型のバックホウによって 54m×12m の植生用地を造成した。このときに発生するコンクリート等の廃材はヤードの隅に仮置きし、植生基盤内の除礫および除根についても同様に実施した。植生基盤の表面は現地盤よりも高い位置になったため、排水についても配慮する必要があった。表面部には小型のバックホウと耕耘機等も活用し、最終的に図-25 に示した 19 区画の植生基盤を整備した。

(2) 植生

重機によって整備した土基盤をさらに改良・整正して、種子やセル苗の吹付け施工ができるように整備した。あらかじめ実施した土壌分析の結果に基づいて、土壌調整用の有機質改良剤と pH 改良剤の種類ならびに散布量を決定した。そして、散布機械とトラクターを使って改良剤を散布・攪拌し、より平坦に基盤面を整形してローラで転圧した。この場合、ローラは 1t 程度の小型のものを使用した。

その後、芝草類は種子を、グラウンドカバープランツはセル苗をそれぞれ実施と同じ要領で吹き付けた。植生は雨天を避けて実施し、養生期間を施工後約 10 日間として、その間散水を施して、吹付け苗が枯死しないように注意した。施工時期が梅雨時期となったことから、水分の管理は降雨状況に基づいて行った。ただし、散水はセル苗が活着するまでの養生期間のみで、それ以後については行わなかった。

(3) 追跡調査

植生完了以後は散水・追肥・雑草除去等一切の保守作業は行わず、追跡調査を開始した。

5.3 施工以後の気象条件

植生施工以降の気象データについては神奈川県農林水産情報センターによる気象観測情報データベースのものを、平年値に関するデータは気象庁のアメダスからのものを使用した。どちらのデータとも、野比実験場と最も近い測定地である三浦市での観測値を使用している。この気象データのなかで植物の生育に最も関係する気温と降雨についてデータを取りまとめた。植生実験を行った 2000~2001 年は降雨が少ないことから、植生施工以後のデータに加えて、それ以前の過去 20 年間 (1980 年から 1999 年まで) におけるデータから平年値を求めて使用している。

(1) 気温

種子およびセル苗を植生した 6 月 26 日以降の気温データについて図-26 にまとめた。図中には各観測日の日平均気温とその日に対する平年値が記されている。

8 月前後の夏期における日平均気温が全体的に平年値よりも 2~3℃ほど高くなっている。また、年が明けて 3 月以降においても平年値よりも高温である日が多く認められる。それ以外の秋期と冬期においては、日々の大きな変動を均して考えて平年値と比較してみるとあまり差は認められない。したがって、植生施工後の気温条件としては、夏季と春季で平年よりも高めの気候であったものと評価できる。

(2) 降水量

降水量については、観測値として日々のデータが記録されているが、ここでは月単位で降水量を集計して整理した。すなわち、日々の降水量を月単位で合計し、その量や変動の様子を平年値と比較してみた。図-27 に植生施工後の各月における月降水量とその平年値を示す。

6 月、9 月および 1 月で平年値を上回った降水量であるが、それ以外はほぼ同じか、あるいは少ない結果となっている。特に、施工後の 8 月は極端に降雨が少なかったことが確認される。また、冬季経過後の 3 月、4 月においても降水量が例年をかなり下回っており、乾燥した日々が続いたものと推察される。

植生工の施工が 6 月末であり、その後 10 日間は散水を施したり、降雨があったりしたので、7 月の降雨状況について詳しく検討した。7 月の日降水量は図-28 に示すとおりで、5mm 以上の降雨のあった日数は 5 日であった。5mm 以上の降雨のあった日数の平年値は 5.4 日であり、図-27 に示した月降水量の結果とも考慮すると、7 月については平年とあまり差がないと評価することができる。

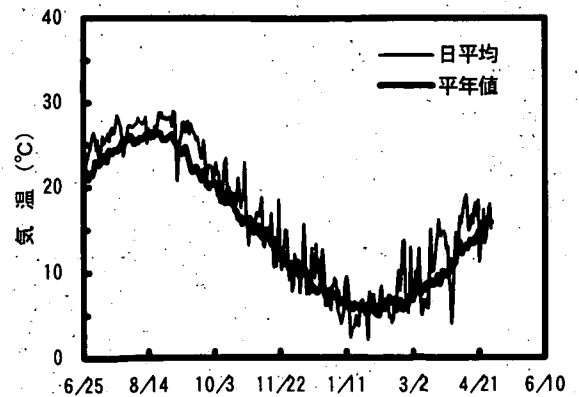


図-26 気温の変動状況

表-20 追跡調査の内容

調査項目	調査方法	実施時期	回数
芝草発芽状況 (本/m ²)	コドラート法	施工後, 2~3 週間後	1 回のみ
苗成立本数 (本/m ²)	コドラート法	施工 60 日後	1 回のみ
被覆度 (%)	コドラート法	毎月 (冬期は隔月)	年 10 回
草丈 (mm)	自然高計測	毎月 (冬期は隔月)	年 10 回
株張り状況 (cm)	直交方向の計測	毎月 (冬期は隔月)	年 10 回
活力度	クロロフィル測定	隔月	年 5 回
雑草侵入状況 (本, 丈)	コドラート法	毎月	年 12 回
刈取り (量, 後経過)	重量計測, 目視観察	年 2 回 (6 月と 10 月)	年 2 回
その他 (病害, 植生相)	目視観察	毎月	年 12 回

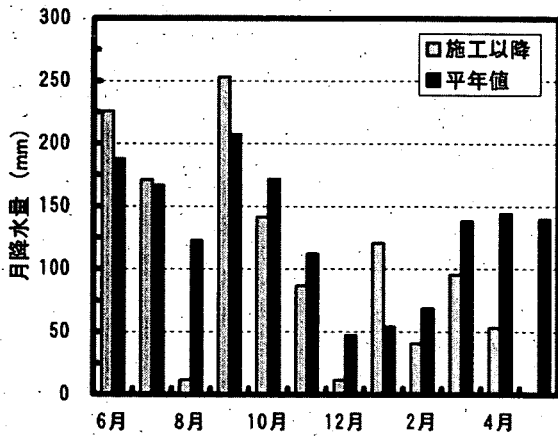


図-27 月間降水量の比較

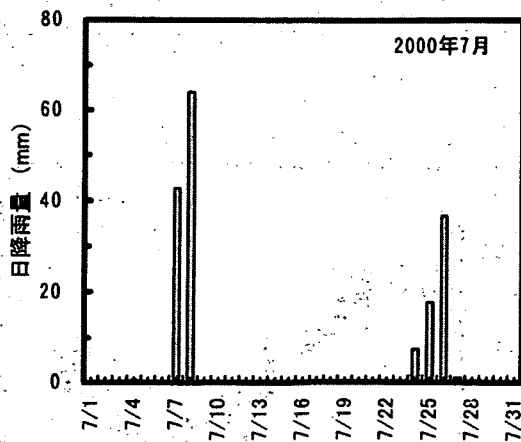


図-28 7月の降水量

(3) 気象状況のまとめ

気温および降水量の平年値と比較することにより、施工後の植生がおかれている気象状況について客観的に認識することができた。気象状況としては、施工後約 1 箇月経過した 8 月は例年よりも降雨が少なく高温の日が続いて、かなり乾燥した環境であったと推察される。また、春先の 3 月、4 月についても、例年よりも乾燥していたと判断される。植生施工後間もない時期における乾燥は植物の生育をかなり阻害するものであることから、施工した植物類は 8 月にその影響を強く受けたものと考えられる。前述のように、用いた施工基盤は砂質分が多く透水性能が高いことから、基盤土壌は比較的乾燥し易い条件が整っていたことになる。

5.4 追跡調査

(1) 調査の内容と方法

植生施工後、各試験区画において発芽状況、活着状況、およびそれ以降の生育状況、雑草侵入状況について追跡調査を実施した。調査項目、その方法、実施時期については表-20 に示すとおりである。コドラート法による調査対象箇所は、芝草種である 1-C と 2-C、および基盤条件を 2 つに分けた B の区画についてはそれぞれ 1 箇所設定し、これら以外については 2 箇所ずつ設定した。

活力度については植物が行う光合成の活性程度を指標にしたクロロフィル a を測定することによって評価した。毎月実施した目視観察の際には、記録としてカラー写真を撮影し、これについても対比ができるようにした。

表-21 施工3箇月後の生育状況

観察区	植物種	当初数	3ヶ月後生存数	評価				生存率(%)	平均草丈(mm)	観察区	植物種	当初数	3ヶ月後生存数	評価				生存率(%)	平均草丈(mm)
				良好	良	不良	枯死							良好	良	不良	枯死		
3-A-1	イワダレソウ	1	0					0	48	5-B1	イワダレソウ	3	3	3				100	10
	マツバギク	8	4	2	2		2	50			マツバギク	1	1	1				100	85
	マンネングサ	6	5				5	83			マンネングサ	1	0				1	0	
3-A-2	イワダレソウ	1	0					0	42	5-B2	イワダレソウ	3	6		3	3		100	5
	マツバギク	6	3	1	1	1		50			マツバギク	2	2			2		100	29
	マンネングサ	4	0					0			マンネングサ	3	3			3		100	15
3-B1	イワダレソウ	1	1	1				100	100	5-C-1	イワダレソウ	3	3	3				100	12
	マツバギク	5	1	1			4	20			マツバギク	2	1		1		1	50	45
	マンネングサ	2	0				1	0			マンネングサ	2	2		1	1		100	24
3-B2	イワダレソウ	4	2	2			2	50	6	5-C-2	イワダレソウ	5	5	5				100	12
	マツバギク	7	5		3	2	1	83			マツバギク	1	1	1				100	75
	マンネングサ	4	0				4	0			マンネングサ	4	1			1	2	25	25
3-C-1	イワダレソウ	1	1	1				100	7	4-D-1	イワダレソウ	6	7	7				100	9
	マツバギク	3	1	1			2	33			マツバギク	1	1	1				100	50
	マンネングサ	2	0				2	0			マンネングサ	1	1			1		100	15
3-C-2	イワダレソウ	1	1	1				100	6	4-D-2	イワダレソウ	9	8	8			1	89	10
	マツバギク	2	0				2	0			マツバギク	2	1		1	1	50	40	
	マンネングサ	3	0				3	0			マンネングサ	3	0			3	0		
4-A-1	イワダレソウ	5	0				5	0	33	4-E-1	イワダレソウ	5	5	5				100	15
	マツバギク	1	1	1				100			マツバギク	1	1	1				100	58
	マンネングサ	4	2	1	1		2	50			マンネングサ	3	2		1	1		67	15
4-A-2	イワダレソウ	7	4	2	2		3	57	7	4-E-2	イワダレソウ	5	5	5				100	23
	マツバギク	2	2	2				100			マツバギク	1	1	1				100	62
	マンネングサ	4	2	1		1	2	50			マンネングサ	1	1	1				100	30
4-B1	イワダレソウ	6	4	4			2	67	20	6-D-1	イワダレソウ	7	7	7				100	15
	マツバギク	2	2	1		1		100			マツバギク	1	1		1			100	20
	マンネングサ	2	1	1			1	50			マンネングサ	2	0			2	0		
4-B2	イワダレソウ	4	3	3			1	75	9	6-D-2	イワダレソウ	8	8	7		1		100	13
	マツバギク	4	1		1		3	25			マツバギク	1	1	1				100	55
	マンネングサ	3	0				3	0			マンネングサ	5	2		2	3	40	25	
4-C-1	イワダレソウ	4	4	4				100	15	6-E-1	イワダレソウ	4	4	4				100	14
	マツバギク	2	0				2	0			マツバギク	1	1		1			100	55
	マンネングサ	4	0				4	0			マンネングサ	1	1		1			100	18
4-C-2	イワダレソウ	4	4	4				100	17	6-E-2	イワダレソウ	6	5	5			1	83	15
	マツバギク	2	2			2		100			マツバギク	2	2		2			100	43
	マンネングサ	5	2			2	3	40			マンネングサ	3	3		1	2		100	34
5-A-1	イワダレソウ	3	0				3	0		4-C-1	イワダレソウ	2	2	2				100	15
	マツバギク	1	1	1				100			マツバギク	2	1		1		1	50	60
	マンネングサ	1	1			1		100			マンネングサ	2	1		1	1	50	18	
5-A-2	イワダレソウ	4	2			2	2	50	12	4-C-2	イワダレソウ	4	4	4				100	20
	マツバギク	1	1		1			100			マツバギク	1	0			1	0		
	マンネングサ	1	1			1		100			マンネングサ	6	1	1			5	17	38

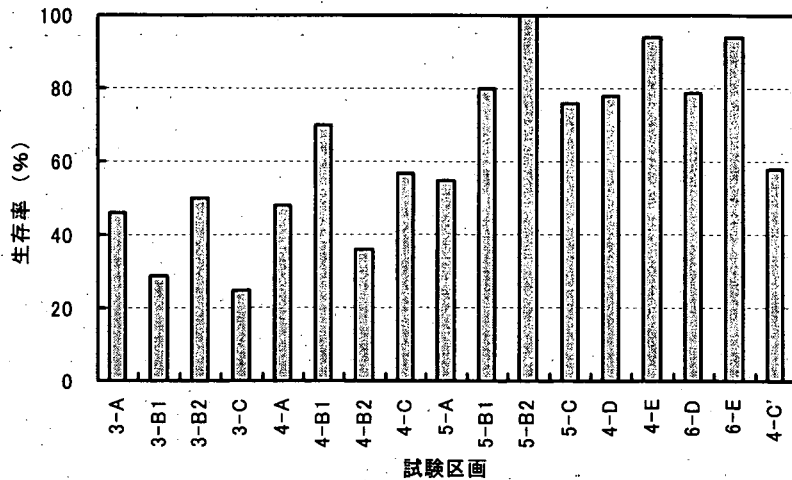


図-29 生存率の比較

刈取り調査については生育状況に応じて実施するものとし、草丈が必要高さを満たしていない場合は行わなかった。株張り状況については一つの苗からランナーが放射状に広がる状況を測定するものなので、生育が進行しランナーが入り組んでしまっ、苗区分の判別が不可能になった時点で終了した。したがって、表-20 に示した調査項目において、長期にわたって定期的実施したものは、被覆度、草丈、活力度、雑草侵入状況、病害・植生相であった。

(2) 調査結果

以下に各調査項目についての調査結果とその考察をまとめる。

a) 芝草発芽状況

芝草類については、現仕様の 1-C、新規仕様の 2-C ともに 6 月 26 日に種子吹付けを実施した。2-C のほうはその後順調に発芽したが、1-C については少雨による乾燥のために枯死してしまった。2-C の施工 1 箇月後の発芽本数は 356 本/m² であり、それらの平均草丈は 122mm であった。これ以後の調査においても比較検討のための標準的植生が必要となるため、1-C については 9 月 26 日に再度現仕様の種子を吹き付けし、11 月 28 日に発芽状況の調査を行った。そのときの本数は 856 本/m²、平均草丈は 48mm であった。

これらの調査結果は施工、発育条件と調査のタイミングが異なることから測定データを比較することはできないが、発芽についての耐乾燥性能は明らかに新規導入種のほうが優れていたことになる。

b) セル苗種の生育状況

セル苗吹付け区画は 6 月 26 日にあらかじめマルチング

材の吹付けと土壌処理型除草剤の施工を行い、翌 27 日にセル苗の吹き付けを実施した。客土吹付けについては、養生時間を数時間確保したうえで、同 27 日に実施した。

セル苗の成立本数の調査は、施工から 3 箇月の間毎月実施したが、夏期の乾燥のために数が毎回変動していたので、9 月 26 日に実施した施工 3 箇月後のデータに基づき、このときに生存していた苗数に基づいて生育状況を取りまとめた。表-21 に施工 3 箇月後の生育状況を示す。

図-29 に生存率のみを各試験区画について平均したものを示す。各試験区画を相互に比較すると、生存率は 5-B2 区画が最も高く、次に客土吹付けを施した 4-E、6-E が高い。表中の評価結果を見ると 5-B2 は生存率が 100% であるが、生育状況は「良」、「不良」のみの評価であり、4-E、6-E は「良好」の評価が多い。また、生存率が 30% 前後と比較的小さいのは 3-C、3-B1、4-B2 であるが、これらの区画のイワダレソウに着目してみると生存率は大きい部類に属している。これとは逆に、3-A や 5-A、4-A においては生存率は 50% 前後であるが、イワダレソウの生存率がかなり小さい。

以上のことから、生育状況の比較によって一部の基盤条件について以下のように特性化できよう。

- ① 客土吹付けの区画は客土が肥料分を有し、保水性も高いことから初期における植物の生育にはかなり有効である。
- ② 防草シートを基盤に敷設した区画は、マツバギクの生存率が比較的高いがイワダレソウの生存率が低い。マルチ吹き付け工 1 と 2 の違い、および基盤肥料、改良材の有無による違いについては不明であった。
- ③ 初期散水有無の違いについても、4-C と 4-C' ではほとんど差異が認められないので、初期の生育状況の

みの比較では不明であった。

c) 被覆度

図-30 に全試験区画における被覆度の推移をまとめて示す。各図は、おおむね導入植物種のグループに分けてまとめられている。新規仕様の芝草の 2-C 区画が施工後 3 箇月程度で最も早く被覆度が 100%に達しており、その他については 10 月下旬まで徐々に被覆度は増加しているが、それ以降は季節の関係でほとんど変化していない。これらのなかでも 4-D, 5-B1, 4-B1 の区画で被覆度が比較的高くなっている。3 月末に多くの区画で被覆度が小さくなっているが、これは 2 月と 3 月における降水量の不足が原因の一つと考えられる。この時期の天気予報では乾燥の注意が喚起されており、先に図-28 で示した月間降水量の記録を見るとこのことが裏付けられている。

被覆度は雑草侵入の影響を多分に受けることから、先述の生育状況が良好であった 4-E, 6-E の客土区画で被覆度が高くなっているわけではない。また、比較的被覆度が高い 4-D を観察すると、調査対象のコドラート部分には雑草があまり侵入していないことが認められた。

ほふく性が優れているイワダレソウの数もかなり被覆度に関係している。イワダレソウの苗が少ないマツバギク主体の区画は全体的に被覆度が小さい。同様に、イワダレソウの生存率が低かった防草シートの区画は、導入植物種によらず全体的に被覆度が小さい。また、これらとは逆に、被覆度が高い 4-D, 4-B1 区画は表-21 の生育状況を見ると、他の区画よりもイワダレソウの施工数が多いか、あるいはイワダレソウの生存率が高くなっていることがわかる。したがって、被覆度を早期において高く保持するためには、イワダレソウを数多く導入することが一つの考え方として挙げられる。

マルチ工法の比較としては、マツバギク主体の区画では差が認められないが、イワダレソウ主体の 2 つの区画ではマルチ工法 1 (B1) のほうの被覆度が高い結果であった。マルチ工法 1 のほうのマルチング材には肥料分が混入されており、マルチ 2 の材料には肥料分がないので、このことによる違いが被覆度の差に表れたものと考えられる。

また、散水の有無については、生存率はほぼ同じであったが、被覆度は初期散水を施したほうが高かった。

d) 株張り

セル苗の吹付けによって施工した草本類に対して、個々の苗における地表面方向への広がり度合いを株張面積によって評価した。本実験における各種セル苗の生長状況は、どの植物種とも円形状に広がっていたことから、長辺方向の長さとしてそれに直行する短辺方向の長さを測定

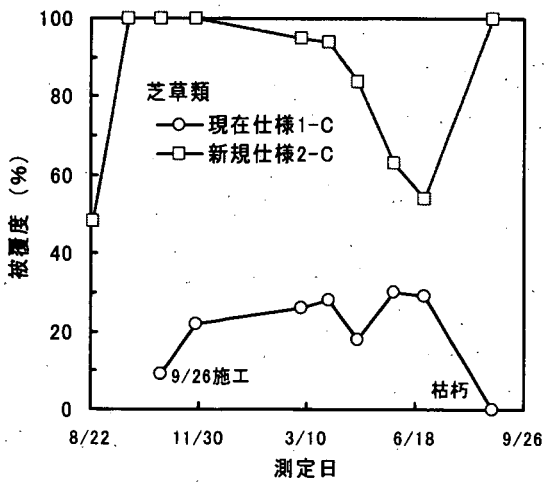
し、広がった形状をひし形と仮定してその面積を求めており、ここではこれを各苗の株張面積とした。長辺方向と短辺方向の判定は目視による主観的な方法を採用しているため、各広がり長さの測定はすべて同一の測定者が実施した。また、株張面積の測定は、苗が活着して枝葉が広がった施工 2 箇月後から開始したが、施工 4 箇月目の測定では多くの苗で枝が入り組んでしまっていて、個々の株を識別することが困難であった。そのため、以降の測定は実施しないことにした。したがって、株張り状況のデータとしては施工 2 箇月後と 3 箇月後のもののみが得られた。

図-31 に苗種別の各試験区画に対する株張面積の結果を示す。調査区に同一種の苗が複数存在している場合は、株張面積の平均値を図示している。ほふく性に優れるイワダレソウは株張面積が全体的に大きく、特に 3-B1 区画と 3-C 区画で飛躍的に拡大している。しかし、これらの区画は図-30 に示したように被覆度は小さいほうであり、表-21 を見ると両区画とも観察区には 1 株だけが生存している。また逆に、被覆度が高かった 4-D, 5-B1 区画に着目してみると、株張面積は苗の活着密度と密接な関係があり、活着密度が粗いほうが株張面積は広くなる傾向にある。したがって、被覆度の向上を図るためには、このような株張面積と活着苗数の関係を考慮して、基盤条件や施工条件を選定する必要があると考えられる。

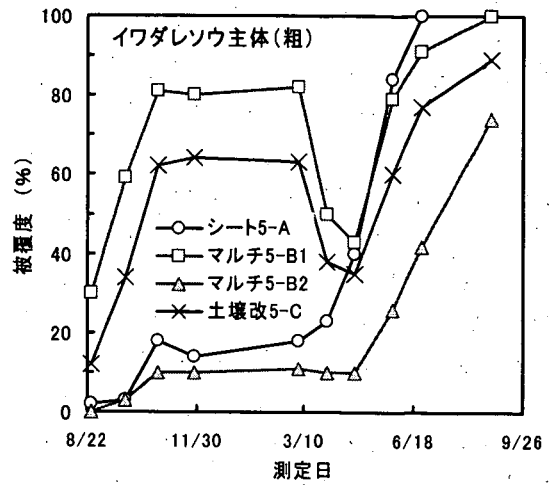
マツバギクの結果についてもほぼ同様なことがいえる。株張面積が大きな 4-A, 5-A 区画は、イワダレソウの生存苗数が少なく、かつその株張面積も小さくて、結果的に被覆度が小さいものとなっている。ただし、マツバギクの苗数は少ないが、すべて良好な生育状況を呈している。

ツルマンネグサは、他の植物種に比べて環境条件に影響されやすく、環境によって生育形態が変化する植物種である。施工 2 箇月後よりも 3 箇月後のほうが、株張面積が小さくなっている区画もいくつか見られる。これは前述のように、試験基盤が貧栄養土で保水性も十分でなかったことによる、過酷な生育条件が原因と考えられる。基盤の条件が最も植生に適していると考えられる客土吹付けを施工した 4-E, 6-E 区画では、比較的株張面積が広がっている。

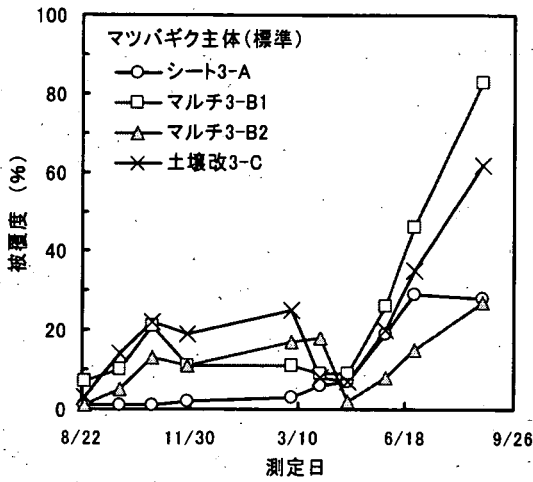
被覆度が全体的に小さかった 3-A, 5-B2 区画について株張面積を見てみると、当然のことながらすべての植物種で株張り状況が悪い結果となっていた。



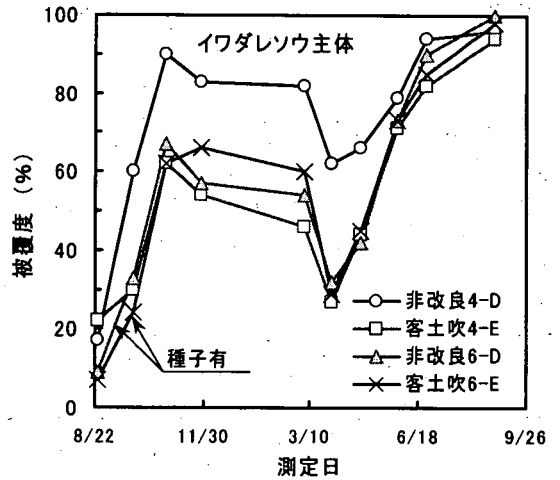
a) 芝草類



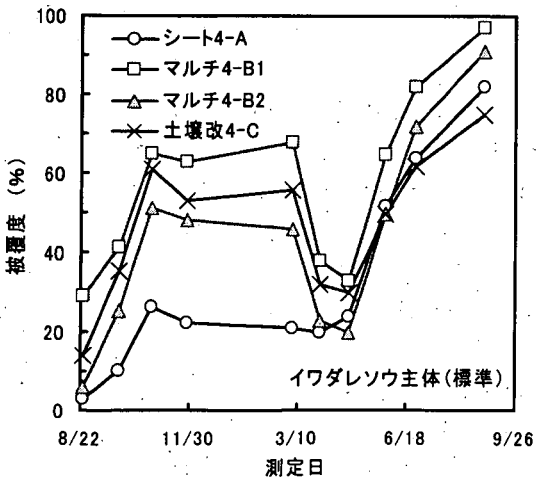
d) イワダレソウ主体(粗)



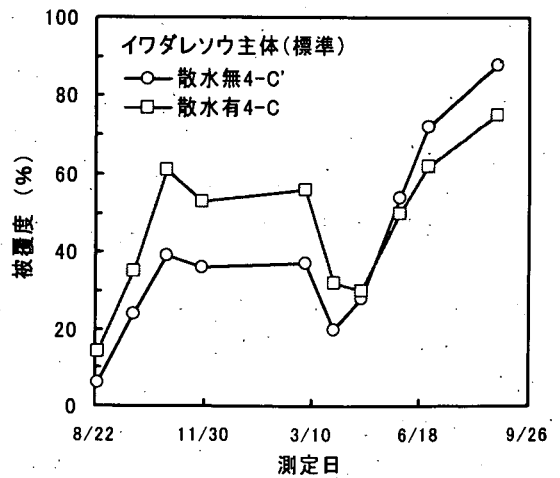
b) マツバギク主体(標準)



e) イワダレソウ主体(種子有無)

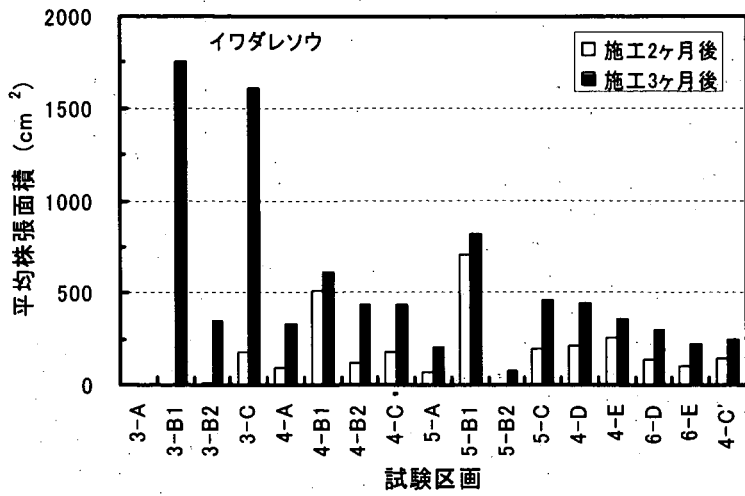


c) イワダレソウ主体(標準)

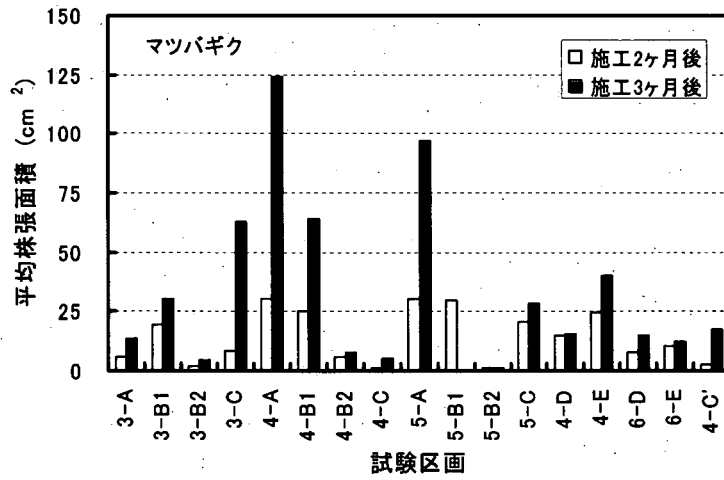


f) イワダレソウ主体(散水有無)

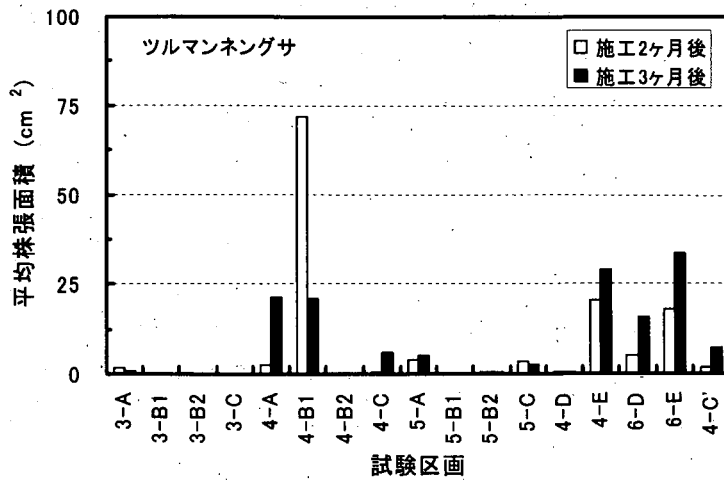
図-30 被覆度の比較



a) イワダレソウ

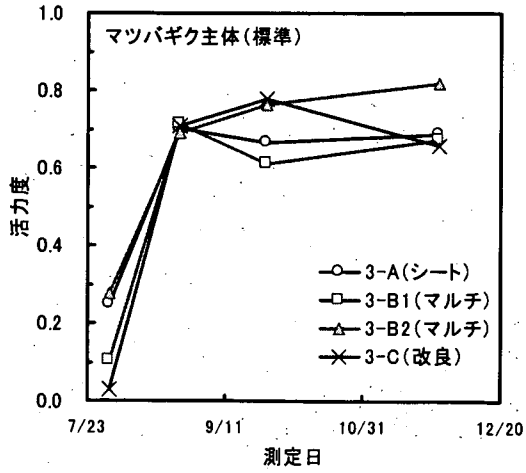


b) マツバギク

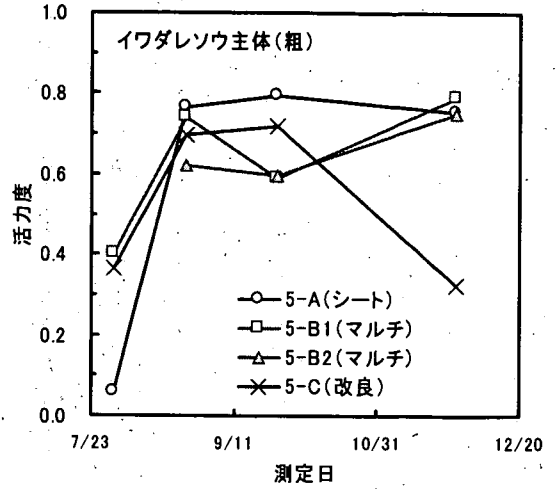


c) ツルマンネグサ

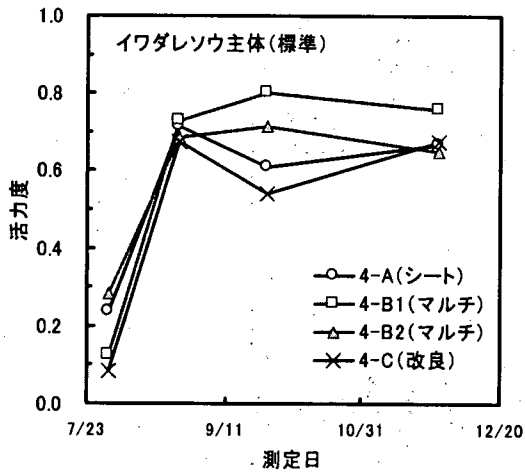
図-31 株張面積の比較



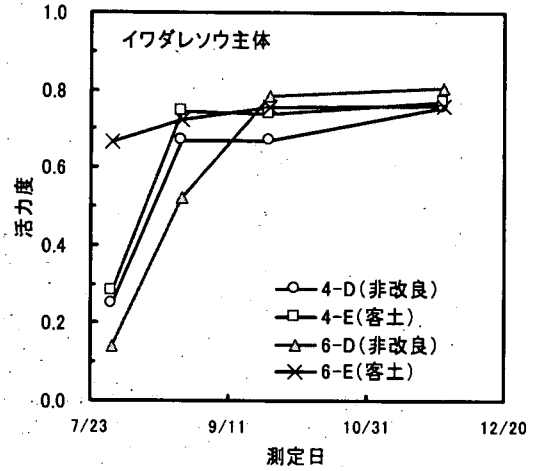
a) マツバギク主体 (標準)



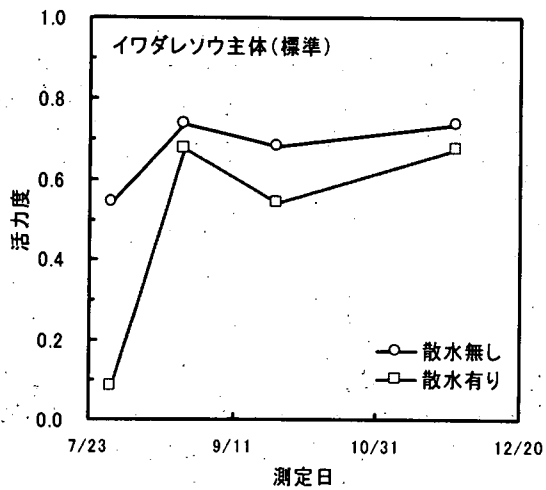
c) イワダレソウ主体 (粗)



b) イワダレソウ主体 (標準)

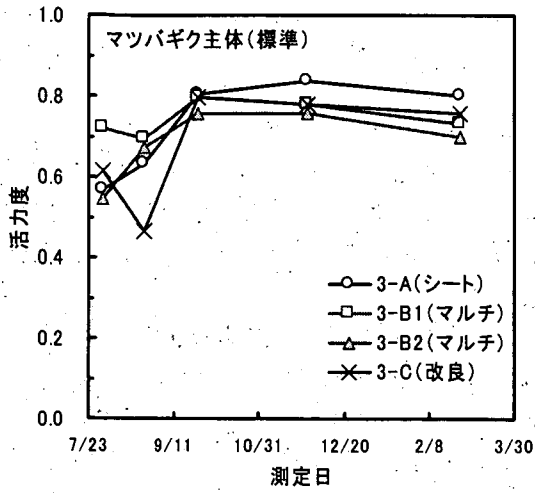


d) イワダレソウ主体 (種子有無)

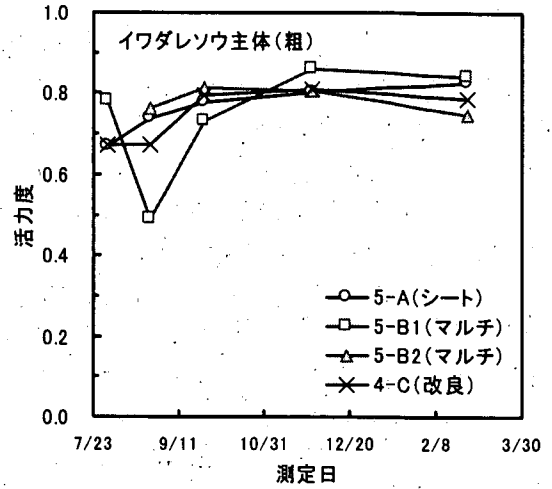


e) イワダレソウ主体 (散水有無)

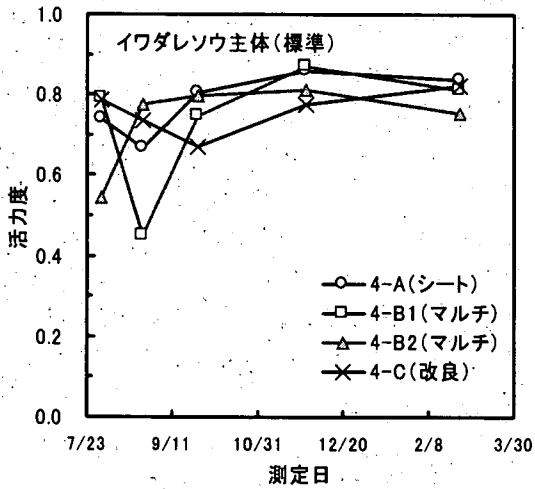
図- 32 イワダレソウの活力度の比較



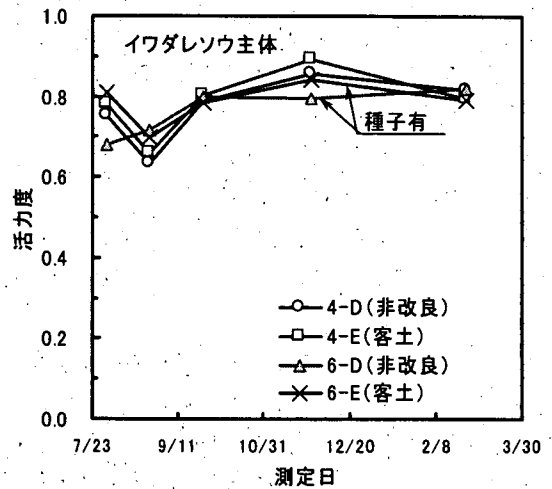
a) マツバギク主体 (標準)



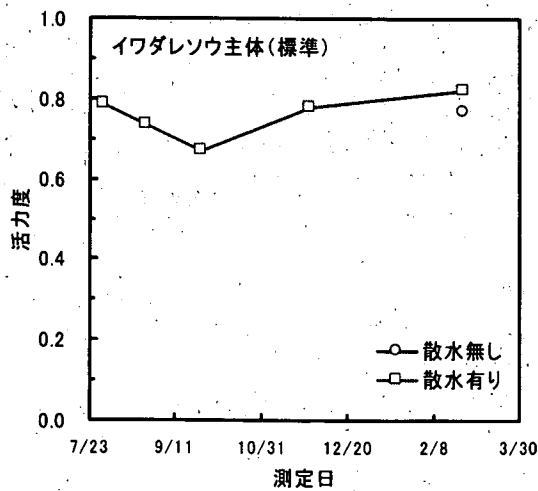
c) イワダレソウ主体 (粗)



b) イワダレソウ主体 (標準)



d) イワダレソウ主体 (種子有無)



e) イワダレソウ主体 (散水有無)

図-33 マツバギクの活力度の比較

e) 活力度

各植生の活力度は植物がクロロフィル a から発する蛍光強度に注目するクロロフィル蛍光反応法^{*}によって評価した。図-32, 33 に各試験区画におけるイワダレソウとマツバギクに対する活力度の時間的推移の様子をそれぞれ示す。一般に、ここでいう活力度の正常な葉の場合における適正值は 0.75～0.85 の範囲であり、それ以下はストレス負荷を受けていると評価される。活力度は 2 月末まで調査を行ったが、イワダレソウは枝葉が緑色を失い、冬季に見られる乾燥状態のままであったために、2 月末の測定値を得ることができなかった。

イワダレソウにおいては、8 月末以降の測定ではどの区画も活力度がほぼ 0.6～0.8 の範囲にあり、そのなかでも防草シート敷設やマルチ吹付けを施工していない C の基盤条件の区画において比較的活力度が低めである。特に、5-C 区画の 11 月末でかなり活力度が低下している。それ以外については、適正範囲を下回っているものもいくつか見られるが、過渡のストレスを受けているものは認められない。前述の気象条件を考慮すれば、8 月過ぎくらいに大きなストレスを受けているように予測されたが、その時期に活力度は特段低下していることはない。したがって、イワダレソウは乾燥に対する抵抗力が高い植物種であると評価できよう。

これに対してマツバギクは全体的に活力度が高く、どの区画のものも適正值の範囲をほぼ満足している。基盤条件の違いによる差異は認められず、一般的にマツバギクの生育状況は良好と評価される。8 月末の測定値のみが大きく低下しているものが多く、前に述べた夏季の乾燥によるストレスが認められるが、次の 9 月末の測定ではほとんどが適正值に回復しており、マツバギクも乾燥に対して抵抗力が高いと判断できる。

f) 雑草侵入状況

グラウンドカバープランツを施工した試験区においてセル苗以外に出現した植物は、表-22 に示すようにまと

* 植物が周囲の環境から受けるストレスの程度を測定する方法。この測定法の原理は以下のとおりである。暗いところに放置した植物の緑葉に突然光を照射すると葉緑体からクロロフィルの蛍光が発せられ、その蛍光強度は時間的に変化するが、この時間変化から葉緑体の光合成による電子の流れを推定することが可能である。そして、この蛍光強度についての評価値において正常値が既知であり、環境ストレスを受けている場合はその評価値が低下する。この評価値として用いられている強度比が活力度である。

められる。ここでは、これら目的外植物（以下、雑草）を一年生植物、二年生植物、多年生植物、およびその他の植物の 4 つのグループに分類した。これらのうち、その他の植物とは、試験区画付近および隣接地域において存在がほとんど確認されていないか、あるいはそれに準ずる植物種のことである。侵入してきた雑草とその生育状況の観察から、各植物グループに対して以下のことが考察された。

- ① 一年生植物の多くは、根系の張り具合と草丈から判断すると、それらの種子が何らかの経路で運ばれてきたものと考えられる。しかし、風散布植物であるオオアレチノギク、コマツヨイグサ以外の植物については、種子の移動力が弱く、施工（6/27）から最初の調査（8/11）までの期間の短さを考慮すると、一年生植物の大半は、風などにより運ばれたものとは判断しがたく、土壌改良資材あるいは吹付け資材等への種子混入が予想される。
- ② 二年生植物は、通常発芽した年には開花しないで、ある程度の大きさの株が冬季の寒さにあたってから開花する。逆に言うと、開花期になっても開花しない株は、今年発芽した可能性が非常に高い。メマツヨイグサが 1 本も開花していなかったことから判断して、この種子が土壌改良資材あるいは吹付け資材等に混入していたか、施工後風などで運ばれてきたものと考えられる。

表-22 侵入した雑草種

分類	植物
一年生植物	ポントクタデ、ザクロソウ、スベリヒユ、アタリソウ、シロザ、イヌビユ、スカシゴボウ、マルバヤハズソウ、コニシキソウ、コミカンソウ、イチビ、コマツヨイグサ、オオアレチノギク、ブタクサ、イボクサ、ツユクサ、イヌビエ、イノコログサ、オヒシバ、メヒシバ、コメヒシバ
二年生植物	メマツヨイグサ
多年生植物	スギナ、ヘラオオバコ、セイトカアワダチソウ、カゼグサ、クグガヤツリ、ハマスゲ、シバ SP
その他植物	ツルノゲイトウ、ヒメフウチョウソウ、フチョウソウ科 SP、ホソバクサクロトン、ヒメアメリカアゼナ、オオハキダメギク、アオガヤツリ、カヤツリグサ科 SP、ワルナスビ近似種

SP：植物名が特定できないもの

表-23 雑草侵入状況

試験区画	一年生植物		二年生植物	多年生植物		その他植物	表-22に ない植物	合計
	コマツヨイグサ	その他	メマツヨイグサ	ハマスゲ	その他			
3-A-1	0-0-0-0	0-0-0-2	0-0-0-0	0-0-0-0		0-0-0-0	0-0-0-2	0-0-0-4
3-A-2	0-0-0-0	2-1-1-1	0-0-0-0	0-0-0-0		0-0-0-0	0-0-0-2	2-1-1-3
3-B1	1-1-1-1	5-5-4-8	1-1-2-2	0-0-0-0		0-0-0-0		7-7-7-11
3-B2	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-2	0-0-0-1	1-1-1-0	0-0-0-1	1-1-1-4
3-C-1	0-1-1-2	1-2-2-2	2-3-2-2	6-13-27-11		3-3-3-3	0-0-0-1	12-22-35-21
3-C-2	2-1-2-2	2-3-2-1	5-6-5-5	0-0-2-3		0-0-0-0	0-0-0-1	9-10-11-12
4-A-1	0-0-0-0	1-1-1-1	0-0-0-0	0-0-0-0		0-0-0-0		1-1-1-1
4-A-2	2-1-1-1	2-3-2-2	0-1-0-0	1-0-0-0		0-1-1-1	0-0-0-5	5-6-4-9
4-B1	4-6-4-4	5-4-4-3	7-6-6-6	17-16-30-16		1-2-2-2		34-34-46-31
4-B2	0-8-5-5	1-0-0-0	0-0-3-3	0-0-3-3		0-1-1-1	7-0-0-1	8-9-12-13
4-C-1	1-1-1-2	0-0-0-0	1-1-1-1	0-0-0-0		0-0-0-0		2-2-2-3
4-C-2	4-4-4-4	0-0-0-0	1-2-2-2	1-4-15-13		0-0-0-0		6-10-21-19
5-A-1	0-0-0-0	0-0-0-0	1-1-1-1	0-0-0-0		0-0-0-0		1-1-1-1
5-A-2	0-0-0-0	3-3-1-1	0-0-0-0	0-0-0-0		1-1-1-1	0-0-0-1	4-4-2-3
5-B1	1-1-1-1	2-3-3-2	1-1-1-1	3-5-6-5	1-1-1-2	0-0-0-0		8-11-12-11
5-B2	0-6-2-2	2-1-3-2	0-0-2-3	0-0-0-0	1-2-2-2	0-0-0-0		3-9-9-9
5-C-1	6-6-4-4	0-0-0-0	3-3-1-1	0-0-0-0		0-0-0-0	0-0-0-2	9-9-5-7
5-C-2	3-3-3-3	0-0-1-1	8-8-9-9	25-25-45-30		0-0-0-0	1-1-0-2	37-37-58-45
4-D-1	-1-1	-2-2	-3-2	-7-5	1-2	-0-0		-14-12
4-D-2	-1-1	-3-3	-1-1	-4-4	1-1	-0-0	-0-1	-10-11

注) 表中の数字は各調査日における調査区画内の雑草発生数 (8/11→8/25→9/20→10/26)

- ③ 多年生植物の多くは、根茎の張り具合と草丈から判断すると、基盤の土壌内に残っていた根や地下茎から発生、生育したものと考えられる。多年生植物の発生個体数が少ない原因は、根や地下茎の残さが基盤造成時に比較的除去されたか、あるいは防草シートおよび防草マルチの効果によるものと考えられる。
- ④ その他植物の侵入経路は、基盤の施工時に保水改良材として用いたヤシガラ繊維質材にその種子が存在していた可能性が高い。

以上のことをまとめると、雑草が侵入してきた経緯は次のように推察される。

- ① 多年生植物以外の多くの雑草は、施工時の土壌改良資材あるいは吹付け資材等の中にこれらの種子が混入していた可能性が高い。
- ② 風散布植物などの一部の一年生植物および二年生植物は、施工後に風で運ばれてきた。
- ③ 多年生植物の多くは、基盤の土壌に残存していた根

や地下茎から発芽生育した。

次に、試験区画への侵入状況について調査結果を示す。雑草調査は 8/11, 8/25, 9/20, 10/26 の計 4 回実施した。前述したように、各区画には 1 ないし 2 箇所の縦・横 50cm の調査区画を設けたが、この面積では不十分であったため、各箇所に対してこの区画に隣接させるようにさらに 2 つの区画を設けて、それぞれ 1 箇所あたり合計 3 つの調査区として調査面積を拡大した。また、調査対象はセル苗吹付けのグラウンドカバープランツの試験区画とし、さらに客土吹付けを施工した区画は調査対象から除いた。

表-23 に各雑草の発生数をまとめる。ここでは植生基盤の仕様による防草効果を比較したいので、全試験区画に発生した個体数が比較的多いコマツヨイグサ、メマツヨイグサ、およびハマスゲを主体に採り上げた。表下の 4-D の区画はシート、マルチおよび除草剤等の雑草対策の改良を施工していない基盤条件であり、これを標準と

考えて比較することにより、雑草侵入抑制のための各種改良の効果を評価することができる。大略的に見ると、雑草の抑制効果は、シート>マルチ>除草剤の順で大きく、現場の視察によっても防草シート工法の防草効果は明らかである。本実験では2種類のマルチ吹付けを実施したが、表の結果をみる限りでは、B2のほうが雑草抑制に優れているように見受けられるが、現場を観察してみると優位な差があるとは認められなかった。

雑草侵入調査を終了した後の2月ころから、現場周辺にはカラスノエンドウという豆科の植物が多数見られ、わずかの間でかなりの範囲に拡大した。このカラスノエンドウの生育、拡大状況からも防草シートの高い効果を確認することができ、また枝葉が広がって基盤を密に覆っている被覆度が高い箇所についても必然的に雑草が入り込むことが困難となっている状況であった。雑草侵入防止の観点からも、早期における被覆性の確保は重要であることが認識された。

その後、一部で雑草の草丈がかなり生長してグラウンドカバープランツの生育を阻害している状況が認められたので、施工後約1年を経過した時点で雑草のみの刈取りを2回に分けて実施した。そのうちの1回分の刈取り量を比較すると図-35に示すようになる。防草シートを施工した区画(植生基盤記号B)ならびに客土を吹き付けた区画(E)は、生長が旺盛な雑草が少ないために刈取り量が少ない。これに対して、マツバギク主体で基盤改良のみの3-C区画、イワダレソウ主体(粗植)でマルチ工法の5-B区画およびイワダレソウ主体(標準)で基盤改良なしの4-D区画で刈取り量が多くなっている。これは、雑草として、草丈が高く生育が旺盛なメマツヨイグサが多く存在していたためであろう。

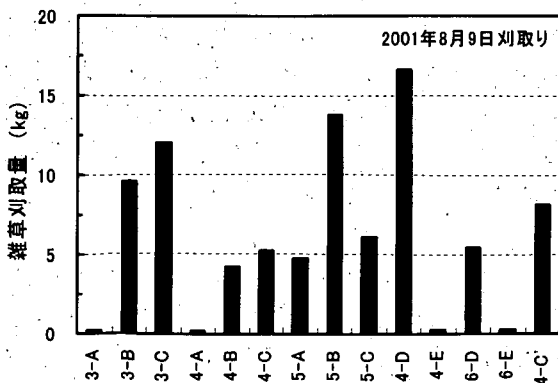


図-35 雑草刈取量の比較

被覆度が高い状況でも、雑草はどこからか必ず侵入してくるので、頻度は少なくとも雑草を除去する作業は必須であると考えられる。広大な面積を有する空港では、メンテナンスフリーが理想ではあるが、最低限の維持管理作業はやむを得ないと考えるべきであろう。

なお、施工後1年2箇月経過時の状況について写真-12、13に示してある。

(3) 調査結果のまとめ

以上に記した追跡調査の結果について、表-24に総括表を示すとともに、主要事項を以下にまとめた。この表では各調査項目を○(現行あるいは標準と同じかそれ以上)、△(現行あるいは標準よりも多少劣る)、×(現行あるいは標準よりもかなり劣る)の3段階で評価している。

- ① 新規に用いた芝種混播きは、現行仕様の芝種よりも乾燥に強く、被覆性に優れている。
- ② 防草シートを用いた基盤改良法は雑草の侵入防止に効果的であるが、イワダレソウの生育に対してもそれを阻害する作用が認められた。雑草の侵入を防止し、かつグラウンドカバープランツの生育を阻害しないようにするためには、工法仕様の最適化が今後の課題である。
- ③ 防草マルチ吹付けの改良法は、雑草の侵入防止とグラウンドカバープランツの生育促進を目的とした改良法であるが、本植生実験ではこれらの効果のある程度確認することができた。
- ④ 土壌処理型除草剤を使用した改良法における雑草の侵入防止効果は、本植生実験では確認できなかった。被覆度は除草剤を使用していない基盤非改良区のほうが高く、グラウンドカバープランツの生育については除草剤を使用しないほうが良好であった。
- ⑤ 客土吹付けを施工した区画は、植物の活着とその後の生育が最も期待されたが、被覆度はさほど高くはなかった。ただし、吹き付けたセル苗の生存率は他に比べて高く、雑草の侵入が少なかった。
- ⑥ 植生施工後に散水養生を行ったほうが、セル苗の活着とその後の生育は良好であった。しかしながら、散水を全く行わず、自然降雨のみによる水分供給でも、施工時期を適切に選定すればセル苗はすべてが枯死することなしに生育することが確認された。
- ⑦ 平地部においてもセル苗吹付けによる植生工で、イワダレソウやマツバギク等のグラウンドカバープランツを効率的に施工できることが確認された。
- ⑧ 植生基盤を整備してグラウンドカバープランツを用

いた植生工を行っても、雑草の侵入は避けられない。良好な植生相を長期にわたって維持していくためには、適当な除草等の管理作業が必須である。ただし、この場合の管理業務は現行の管理業務よりもかなり軽減されるものと考えられる。

表-24 調査のまとめ

区画	生存率	被覆度	草丈	活力度	雑草抑制効果	経済性
1-C	×	△	△	-	△	標
2-C	○	○	×	-	○	○
3-A	△	×	○	△	○	×
3-B1	×	×	○	△	△	×
3-B2	△	×	○	○	△	×
3-C	×	×	○	△	×	△
4-A	△	×	○	△	○	×
4-B1	△	○	○	○	△	×
4-B2	△	△	○	△	△	×
4-C	△	△	○	△	×	△
5-A	△	×	○	○	○	×
5-B1	○	○	○	○	△	×
5-B2	○	×	○	○	△	×
5-C	○	△	○	△	×	△
4-D	○	○	○	○	標	△
4-E	○	△	○	○	△	△
6-D	○	△	○	○	標	△
6-E	○	△	○	○	△	△
4-C'	△	△	○	△	×	△

6. 新しい植生工の提案

6.1 新しい植生工の基本概念

5.で記した植生実験においては、二つの植生工について注目した。一つは新たな芝草種を用いた植生工であり、もう一つはイワダレソウを主体としたグラウンドカバープランツの植生工である。新たな芝草種は既往の植物種よりも耐候性や被覆性の点で優れていたが、草丈は既往の植生と同程度に生長した。したがって、現場への導入を考えた場合、草刈り作業および刈草処分を大幅に軽減することは期待できない。本研究の主要目的である維持管理の軽減を重視してそれを優先させるならば、イワダレソウを主体としたグラウンドカバープランツの植生工のほうが空港着陸帯の緑地形成に適していると評価できる。

グラウンドカバープランツを用いた植生工では、セル苗の数や雑草防止の基盤改良法をいくつか選定して植物

の生育状況を比較したが、どの植生条件においても一長一短があって、結論的にどの植生仕様が最も適しているかという順位づけができるまでには至らなかった。しかしながら、本研究の成果の一つという位置づけで、イワダレソウを主体としたグラウンドカバープランツ植生工の方向性については次のようなものが考えられる。

- ① 植生基盤が導入植物の生育に不相当である場合は、適切な物理的および化学的な改良を施して、植物が良好に生育できるような基盤条件を整備する。
- ② 雑草の侵入抑制には、基盤改良等も有効であるが、早期の被覆性が最も重要である。
- ③ 被覆性の向上を図るためには、①に記した基盤条件の整備に加えて、植生導入の時期、導入直後の散水、導入後の雑草侵入に対する除草について留意する必要がある。

上記のグラウンドカバープランツを用いた新しい植生工の基本的考え方は、初期の導入時に費用をかけて質の高い植生を早い時期に整備し、その後の管理はそれを維持するだけの軽微のもので済ませるというものである。すなわち、新しい植生工で整備した緑地においても、雑草の侵入や基盤の貧栄養化等の問題は避けることができないので、良好な緑地を長期間維持するためには維持管理が必須となるが、新しい植生工であればその維持管理がかなり軽減されるということである。

6.2 経済性に関する検討

本研究の成果である新しい空港植生は、植物種および施工法に既往の場合よりも高品質、高機能のものを使用することから、初期建設費が割高となってしまいが、維持管理のための費用が既往の方法よりも軽減されることになるので、トータルコストでは有利になると考えられる。この点について具体的な知見が得られるように、実際に即した金額を設定したうえで提案する植生工と既往工法とのコストの比較を行って検討してみた。

(1) 維持管理の考え方

維持管理業務の主体は草刈りと刈取った草の処理である。既往の工法および新規工法の場合における草刈りと刈草処理に要する費用を次のように考えた。

既往工法は、基本的に草丈の高い洋シバ類が主体であることから、年に3回の刈取りを永続的に実施する。

新規工法は、草丈が高くないグラウンドカバープランツを植生し、その繁茂によって草丈の高い雑草の侵入を抑制しようとするものである。しかしながら、グラウンドカバープランツの被覆度と雑草の発生量は反比例

の関係にあり、グラウンドカバープランツの被覆度が充分でない施工直後においては雑草の侵入を避けることは難しい。本来、グラウンドカバープランツが完全被覆するまでに発生する雑草はこれを全て除去するのが理想であるが、広大な空港緑地を考えるとそれは不可能に近い。したがって、新規工法の維持管理としてはグラウンドカバープランツが完全に被覆するまでの間はその生育を阻害しない程度の頻繁な雑草刈取り（機械除草）を実施するものとする。そして、雑草の刈取りを実施しながらグラウンドカバープランツへの遷移を促進するとともに、数年後には雑草の刈取り回数および刈取り量を軽減させて、維持管理費の低減をはかる。

表-25 費用算定条件

費用項目	既往工法	新規 A	新規 B
新規施工費	1	2	3
草刈り費	1	0.7	0.5
刈草処分費	1	0.7	0.5
管理頻度	初年度 1 回 2 年度以降 3 回	初年度 1 回 2, 3 年度 3 回 4, 5 年度 2 回 6 年度以降 1 回	初年度 1 回 2 年度 2 回 3 年度以降 1 回

注) 費用は既往工法を 1 とした。

(2) コストの試算

上記の考え方に基づいて、ここでは、既往工法と新規工法に対するトータルコストを試算した。そのときの算定条件は表-25 に示すとおりである（費用については既往工法に対する比で表し、コスト上昇分については各工法とも同一とした）。

その結果、新規工法は初期費用が既往工法よりも高いため、維持管理費が安くても累積費用が逆転するのは 10 年以上経過してからとなってしまうことが推定された。しかし、空港に求められる長期供用性能を考慮すると、累積費用が逆転するまでの期間はさほど長すぎるとはいえず、その後は既往工法との差異は拡大する一方であることから、トータルコストの観点からは経済性に優れていると評価できよう。また、新規工法の改良による効率化、刈草の排出削減が可能となれば、トータルコストはさらに下がるものと考えられる。なお、新規工法については、通常の場合（新規 A）と初期建設の費用を多めに設定して維持管理費を軽減させる場合（新規 B）の 2 とおりのモデルを考えた。これらと、前述の植生実験における植生仕様との関係としては、防草シート工法と客土

吹付け工法は新規 B よりも多少高めであり、防草マルチ工法は新規 B とほぼ同じ、そして、それら以外は新規 A と新規 B の間の範囲に含まれると考えられる。

7. 結 論

本研究では、建設残土を用いて造成された海上埋立空港の着陸帯等制限区域内における植生管理のコスト削減を目的として、植生工の合理化に関する技術開発を実施した。わが国の空港全般における植生の実状を調査し技術的課題を整理するとともに、管理費を軽減するための新しい植生技術について明らかにした。具体的には、機械施工によるイワダレソウを主体としたグラウンドカバープランツが空港着陸帯に対しては有効であり、初期養生を十分に行って速やかに地上面をグラウンドカバープランツで密に覆うという手法である。また、導入植物の生育促進と雑草の侵入防止を目的とした植生基盤の改良法についても、ここで用いた改良法の効果や問題点、および改善のための方向性等の知見を得ることができた。

本研究で得られた主な知見をまとめると次のとおりまとめられる。

- ① 多くの空港における空港着陸帯の植生管理については、費用ならびに業務の煩雑さの点でいくつかの問題点があると考えられる。
- ② 雑草侵入による着陸帯の美観低下も指摘されていることから、その植生には被覆性に加えて、雑草侵入を抑制する機能も必要と考えられる。
- ③ 維持管理費を効率よく削減させるには導入植物種を見直す必要があり、その場合矮生でほふく性能に優れた植物種が望ましい。
- ④ 上記のものとしてイワダレソウが有望であり、これを主体とした植生は機械施工が十分に可能で、広大で平坦な空港着陸帯においても問題なく導入できるものと考えられる。
- ⑤ 維持管理費を削減するためには、建設時に矮生でほふく性能が優れた植物種を導入することにより比較的早い時期に地表面を密に被覆して、その後は雑草管理と導入種の生育管理のみに務めるという手法が考えられる。これは、トータルコストの点からも有利となる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所（当時）からは植生実験を始めとする空港植生に関する実データ等の資料を提供して頂いた。また、

2. で示したアンケート調査においては全国各地の空港管理者に協力して頂いた。さらに、兵庫県立北部農業技術センター農業部福嶋昭主任研究員からはグラウンドカバープランツの技術的事項について有益な助言を頂いた。このほか、本資料においては、西武造園株式会社、株式会社富士植木、株式会社大本組と行った共同研究の成果の一部を使用させて頂いた。関係各位に深甚なる感謝の意を表します。

(2001年9月4日受付)

参考文献

- 1) 運輸省東京航空局東京空港事務所：東京国際空港刈草処分調査報告書，1998年，pp.1-1-1-4.
- 2) 運輸省東京航空局：航空機と鳥の衝突防止に関する調査報告書，1997年.
- 3) 運輸省大阪航空局：空港植栽維持管理調査報告書，1990年.
- 4) 運輸省東京航空局函館空港事務所：局函館空港着陸帯植生調査報告書，1997年，pp9-57.
- 5) 運輸省第五港湾建設局名古屋港工事事務所：名古屋空港緑地整備植栽試験および調査報告について，第12回空港土木工事報告会資料，1977年.
- 6) 運輸省東京航空局：仙台空港周辺緩衝緑地帯の整備について，第22回空港土木工事報告会資料，1987年.
- 7) 福島県空港建設事務所：福島空港における盛土法面植生工法の評価について，第30回空港土木工事報告会資料，1995年.
- 8) 新東京国際空港公団：A滑走路南側緑地帯整備工事，第30回空港土木工事報告会資料，1995年.
- 9) 森 信幸，山縣宣彦：寒冷地空港の植生について，北海道開発局技術開発研究発表会論文集，1978年，pp.143-152.
- 10) 港湾緑地の植栽設計・施工マニュアル，(財)港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所，1999年，pp.56-72.
- 11) 倉田益二郎：緑化工技術，森北出版，1979年，pp.158-208.
- 12) 斉藤一雄：緑化土木，森北出版，1979年，pp.243-292.
- 13) 小沢知雄，近藤三雄：グラウンドカバープランツ，誠文堂新光社，1995年，pp.121-150.
- 14) 林田秀典：法面の土質と植生工の選定，地質と調査，第75号，1995年，pp.16-21.
- 15) 運輸省航空局：空港整備事業関係補助金等交付要綱集，pp.191.
- 16) 運輸省航空局：空港土木請負工事積算基準，pp.241-247.
- 17) 福嶋 昭：グラウンドカバープランツの新しい利用技術，農林水産省平成12年度課題別研究会資料景観形成植物を活用した環境緑化研究の現状と課題，2000年，pp.14-20.



写真-1 小規模植生実験の概観（施工後14箇月経過）

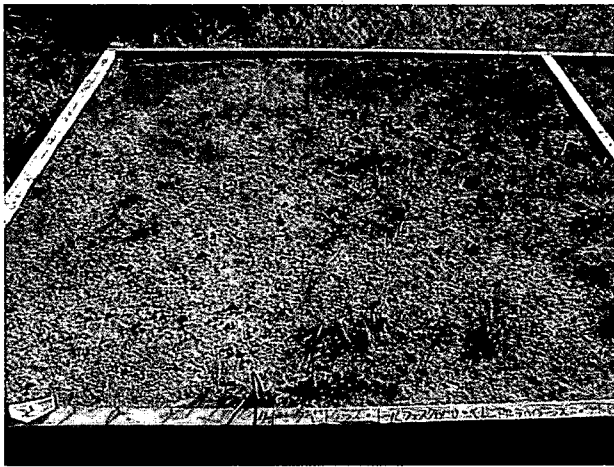


写真-2 現仕様（改良無し）

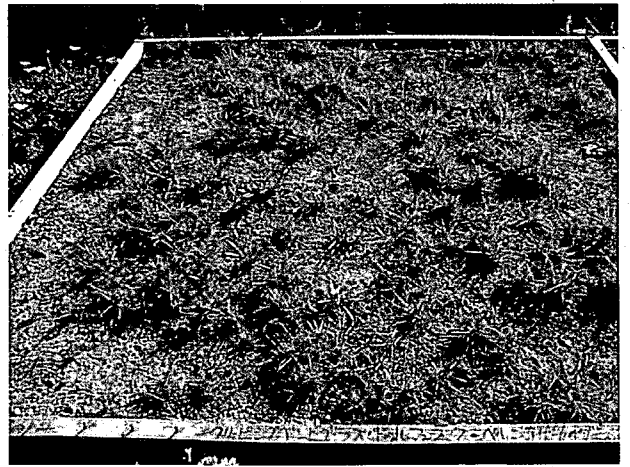


写真-4 現仕様（肥料のみ）

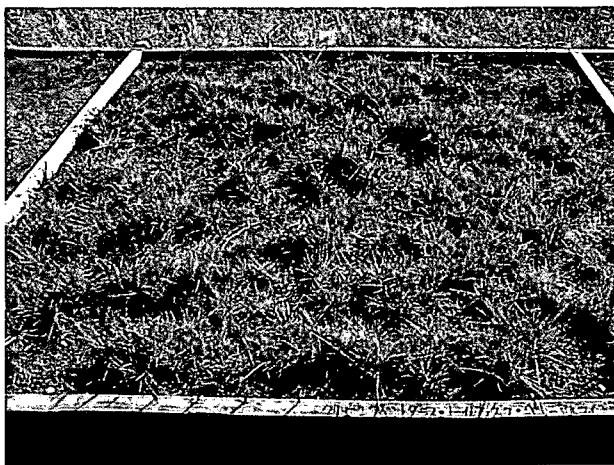


写真-3 現仕様（肥料，中和剤）

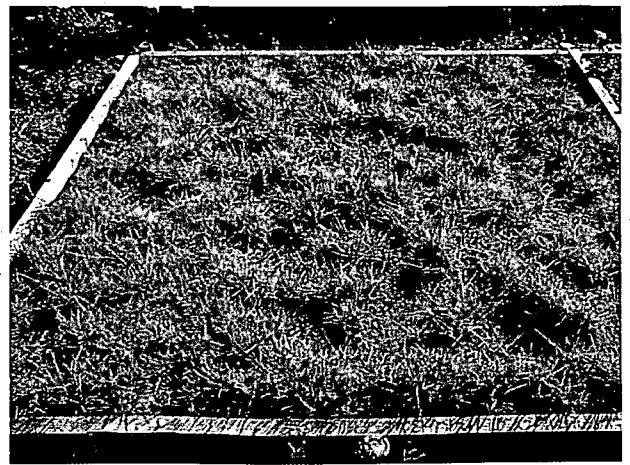


写真-5 現仕様（中和剤のみ）

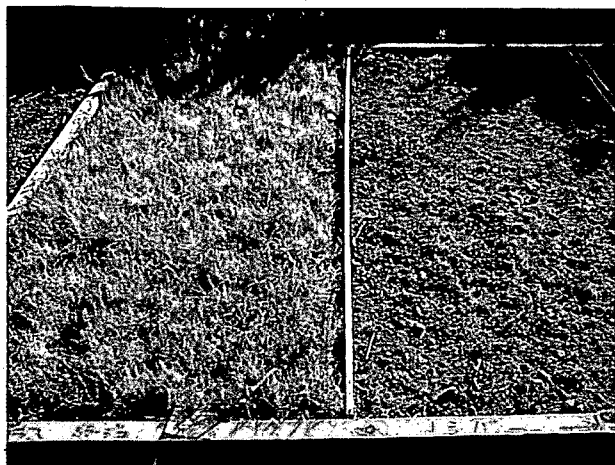


写真-6 バミューダグラスとノシバ

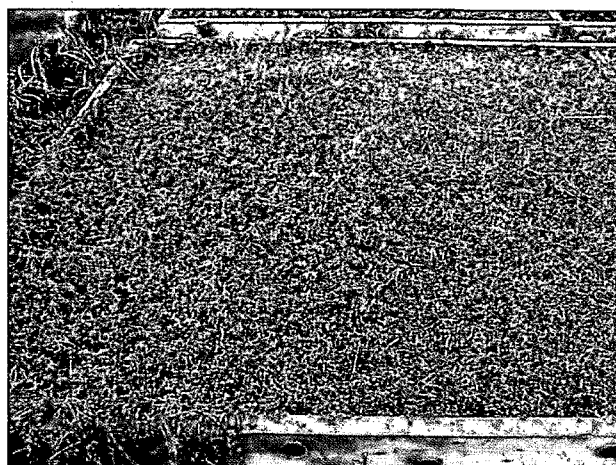


写真-8 イワダレソウ

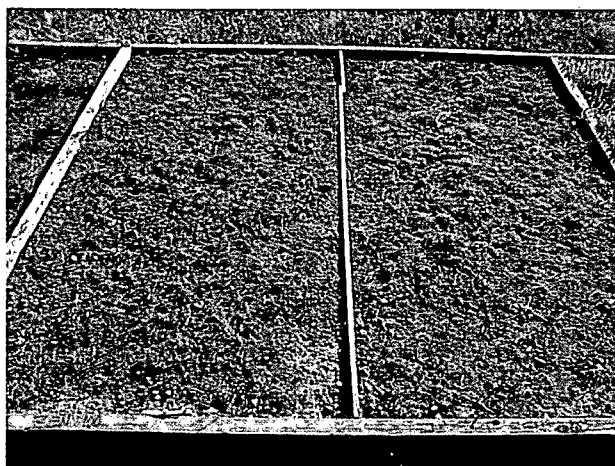


写真-7 コウライシバ ZEN100 と ZEN300

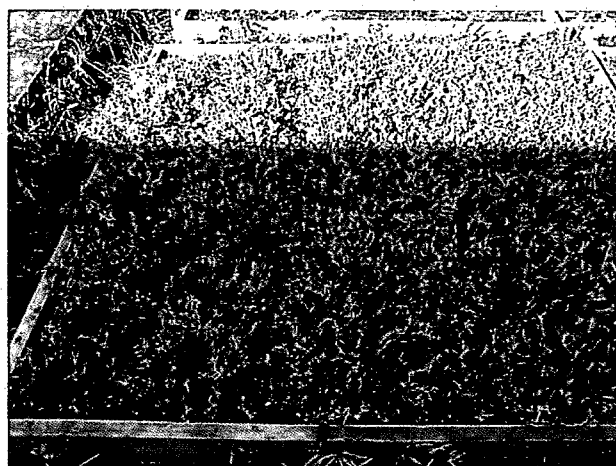


写真-9 マツバギク



写真-10 セル苗の概観

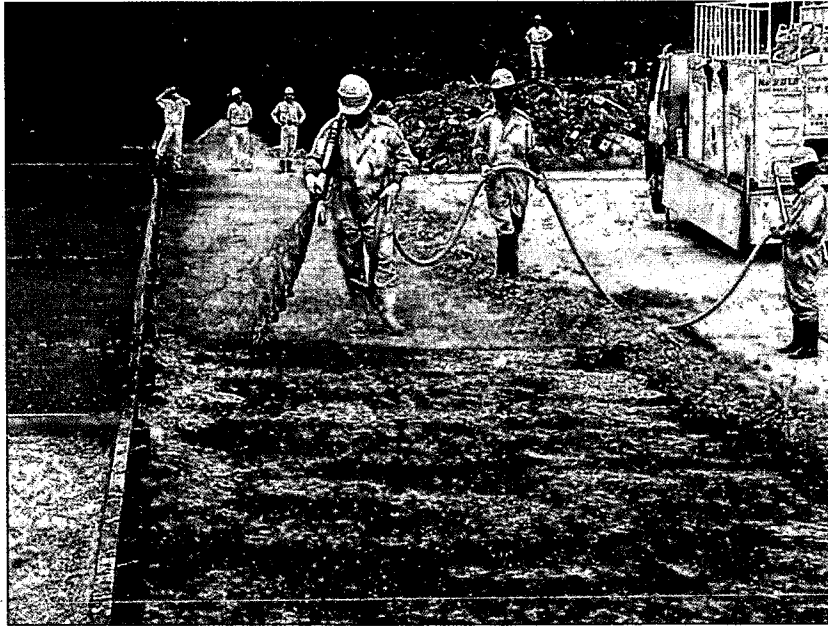


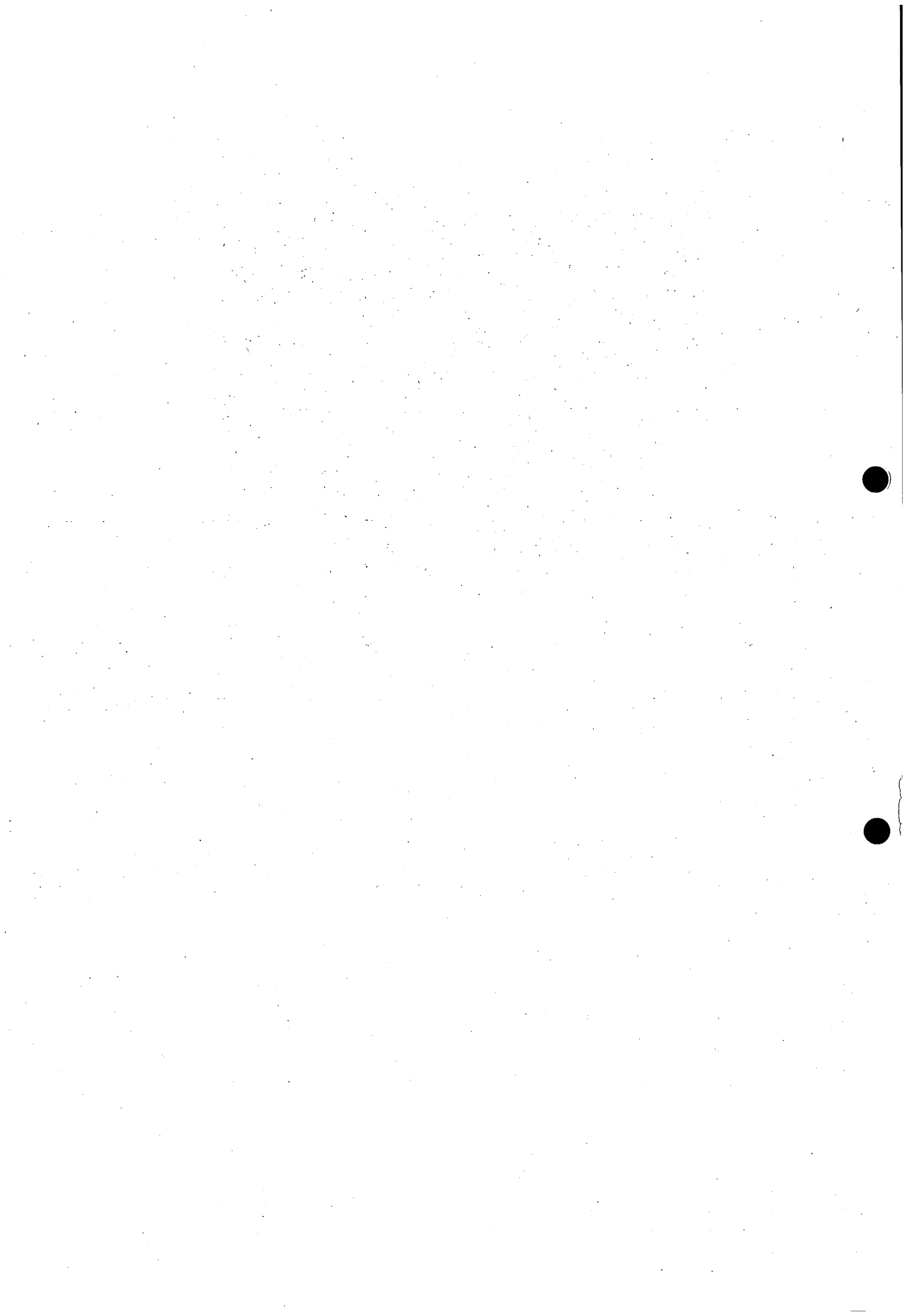
写真-11 セル苗吹き付け状況



写真-12 試験区画の状況（14箇月経過時）



写真-13 4-D区画の状況(14箇月経過時)



国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 8 December 2001

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話：0468-44-5018 〕