

第4回 那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会

陸域における緑化方針

平成27年6月4日

内閣府沖縄総合事務局
国土交通省大阪航空局

<目次>

1. これまでの検討内容	1
1.1 評価書における記載内容	1
1.2 評価書への意見	1
1.3 委員会における検討事項	1
2. 陸域改変区域における緑化実験	2
2.1 目的	2
2.2 実験計画	2
2.2.1 実験材料	2
2.2.2 実験条件及び実験区	5
2.2.3 モニタリング	9
2.3 実験結果	10
2.4 解析・考察	16

1. これまでの検討内容

1.1 評価書における記載内容

- 工事により出現する裸地における赤土等流出防止対策（土砂仮置場、連絡誘導路取付部）
- 事業実施区域内における裸地への営巣を好むコアジサシの集団繁殖の防止（土砂仮置場）
- 滑走路及び誘導路等以外の基本施設等において、現滑走路と同様の緑化とした増設滑走路及び連絡誘導路の着陸帯等の緑化（土砂仮置場及び連絡誘導路取付部を除く緑化対策箇所）
- 連絡誘導路の設置に伴い出現する林縁内部の乾燥化防止のためのマント群落やソデ群落の植栽（林縁部の出現が想定される場所）

1.2 評価書への意見

評価書における緑化に対する国土交通大臣意見及び県知事意見は、以下に示すとおりである。

島嶼部の生物については、同種であっても島ごとに遺伝子レベルに違いがある可能性があり、島外からの生物の移入は、遺伝子レベルの生物多様性に攪乱を生じさせるおそれがある。このため、埋立用材及び緑化資材については、島嶼部特有の生物多様性の保全に十分配慮すること。

1.3 委員会における検討事項

- 第1回委員会：陸域における緑化について、目的別の方針について概ね承認を得た。

<緑化の方針>

- 陸域改変区域（土砂仮置場・連絡誘導路取付部）における赤土等流出防止対策を実施する際について以下の事項を検討する。
 - ①赤土等流出防止対策として播種する緑化資材は、沖縄県内で既に実績があり、種子吹付できる種を想定する。
 - ②緑化を行った後、沖縄にもともと生育している在来種に遷移させるような方法を検討する。
 - ③緑化資材は、緑化箇所から他の地域へ伝播しにくい種を選定する。
- 連絡誘導路取付部における林縁部の出現が想定されるマント群落やソデ群落の植栽においては、周辺にも生育する種を植栽する。
- 増設滑走路及び連絡誘導路の着陸帯等の緑化は、綠肥・牧草の利用の観点で緑化資材を選定する。

- 第2回委員会：陸域改変区域内における緑化実験の方針について概ね承認を得た。
- 第3回委員会：陸域改変区域内における緑化実験の実施状況及びモニタリング結果（中間報告）を踏まえ、今後の実験方針等について検討する。
- 第4回委員会：陸域改変区域内における緑化実験のモニタリング結果の報告、及び今年度の実験方針等について検討する。

2. 陸域改変区域における緑化実験

2.1 目的

緑化施工箇所のうち、陸域改変区域における緑化材について検討するため、2種混合材の吹付けにより赤土等流出防止を図るとともに、沖縄在来のイネ科の草本の根（茎）を撒きだすことにより、在来の草本植生に遷移させることができると想定される。

2.2 実験計画

2.2.1 実験材料

実験材料として、沖縄在来のイネ科草本、吹付用混合種、土壤团粒化剤を用いることとした。

(1) 沖縄在来のイネ科草本

沖縄島に在来するイネ科草本として、陸域改変区域周辺に生育しているハイキビ及びチガヤを用いることとした。



ハイキビ



チガヤ

図 1 沖縄在来のイネ科草本

(2) 吹付用混合種

赤土等流出防止対策として、要注意特定外来生物リストに含まれない種で、沖縄県内で生育が確認されている種を用いることとし、現空港において使用されている緑化材と、沖縄において一般に使用されている緑化材について検討した。

表 1 に示す検討の結果、バミューダグラス及びハイランドベントグラスによる 2 種混合材を用いた。種子の吹付状況を図 2 に示す。

表 1 吹付用混合種の検討状況

緑化材	使用状況		検討結果	選択状況
	現空港	その他事業		
バミューダ グラス		○ ○	夏草系の吹付種子。	●
ハイランド ベントグラス			○ 冬草系の吹付種子。	●
トールフェスク		○	冬草系の吹付種子。 環境省の要注意外来生物であるため使用しない。	—
ホワイト クローバー		○	冬草系の吹付種子。 ハイキビ・チガヤの競合種となりうるため使用しない。	—



図 2 種子吹付状況

(3) 土壌団粒化剤

周辺域への土壌の流出や緑化材の流出を防ぐため、土壌団粒化剤（高度化成肥料、吹付播種用被覆保護材料、粘着剤）を使用した。なお、周囲の裸地面においても、赤土等流出防止対策として、同様に土壌団粒化剤の吹付を行った（図3）。



図3 土壌団粒化剤の吹付作業状況



図4 土壌団粒化剤の吹付状況（左：吹付前、右：吹付後）

2.2.2 実験条件及び実験区

(1) 実験条件の組み合わせ

実験区は、以下の条件の組み合わせにより 9 実験区と対照区を加えた計 10 実験区を設定した（表 2 及び表 3）。

- ・ハイキビ及びチガヤの在来種の根（茎）の栽植密度を 3 段階に変えて撒き出す条件
- ・2 種混合材の有無
- ・土壤団粒化剤の有無

また、ハイキビ、チガヤのみ栽植する実験条件と、両種を混生して栽植する実験条件を予備実験として設定した。

なお、実験実施にあたっては、実験区への影響が出ないように周辺域を含めて除草等を行い、盛土内に残存していた根から出現したことが明らかな個体についてはモニタリング時に除去した。

表 2 実験条件の組み合わせ

実験条件 \ 実験区		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	予備①	予備②	予備③
I. ハイキビの在来種の根（茎）	栽植密度：高	○												
	栽植密度：中		○		○							○		○
	栽植密度：低			○										
II. チガヤの在来種の根（茎）	栽植密度：高					○								
	栽植密度：中						○		○				○	○
	栽植密度：低							○						
III. 2 種混合材	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○													
IV. 土壤団粒化剤	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○													
V. 何もない（対照区）											○			

表 3 植栽・吹付密度の組み合わせ

実験条件	区分	密度	
I. ハイキビの在来種の根（茎）	栽植密度：高	0.25m × 0.25m に 1 個体 (16 個体/m ²)	64 個体/4 m ²
	栽植密度：中	0.5m × 0.5m に 1 個体 (4 個体/m ²)	16 個体/4 m ²
	栽植密度：低	1m × 1m に 1 個体 (1 個体/m ²)	4 個体/4 m ²
III. 2 種混合材	バミューダグラス（夏草系）	5.0kg/500 m ²	40g/4 m ²
	ハイランドベントグラス（冬草系）	1.0kg/500 m ²	8g/4 m ²
IV. 土壤団粒化剤	高度化成肥料、吹付播種用被覆保護材料、粘着剤	各 60.0kg/500 m ²	各 480g/4 m ²

(2) 実験区画の場所

陸域改変区域（大嶺崎周辺）を中心に現場踏査を行い、実験区画場所として図 5 に示す位置を設定した。

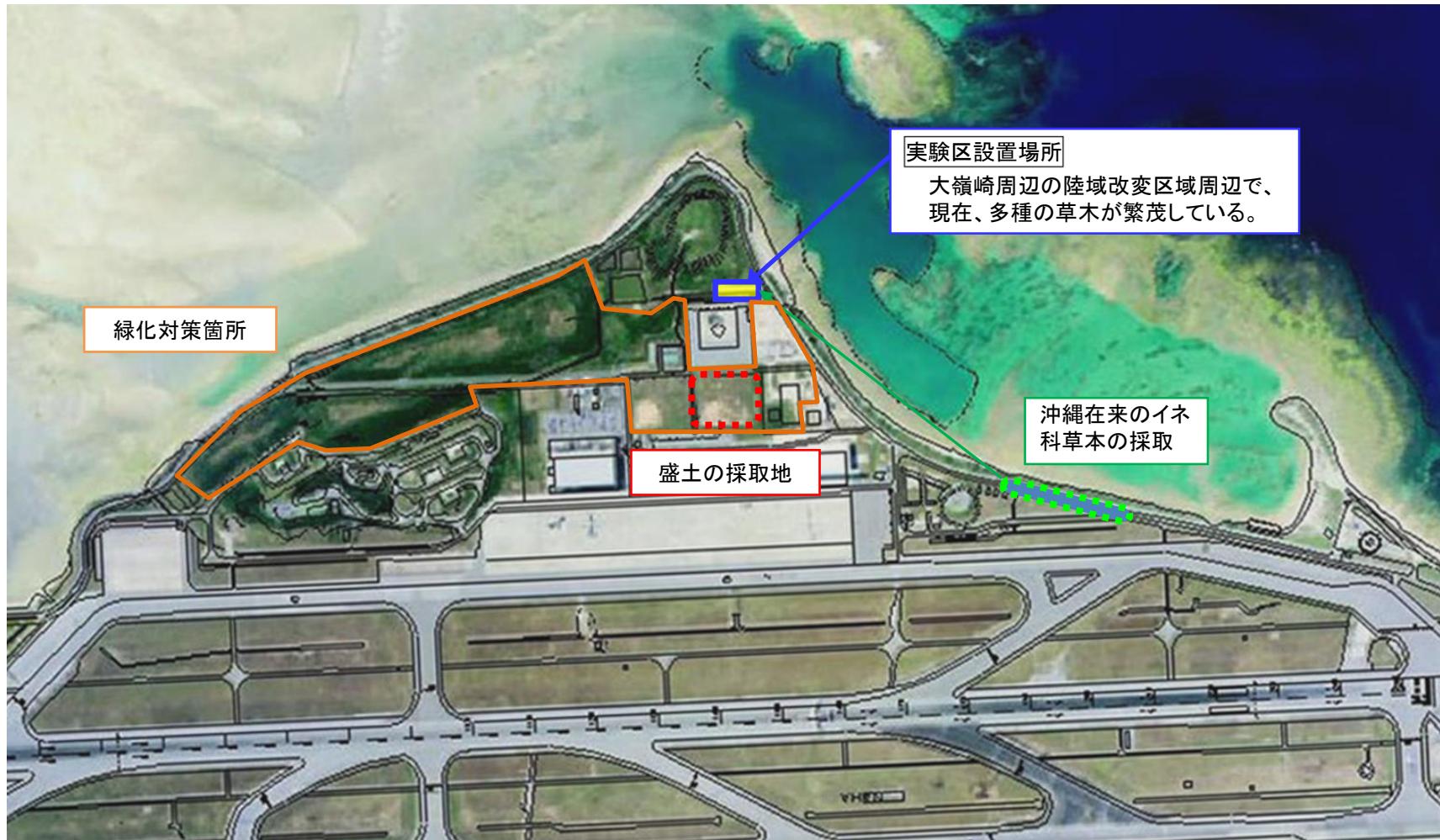


図 5 実験区の設置場所

(3) 実験区画配置

実験区画の配置は、以下に示す条件により図 6 に示すとおり設定した。

- ・位置による差異を平均化するため 1 実験区につき 3 区画を設定
- ・1 区画で $2m \times 2m$ の実験区を設定
- ・各区画は木枠等で囲って区分してランダムに配置
- ・予備実験①～③については、各 1 区画設定

なお、今回の実験では、播種直後のみ灌水を行った。

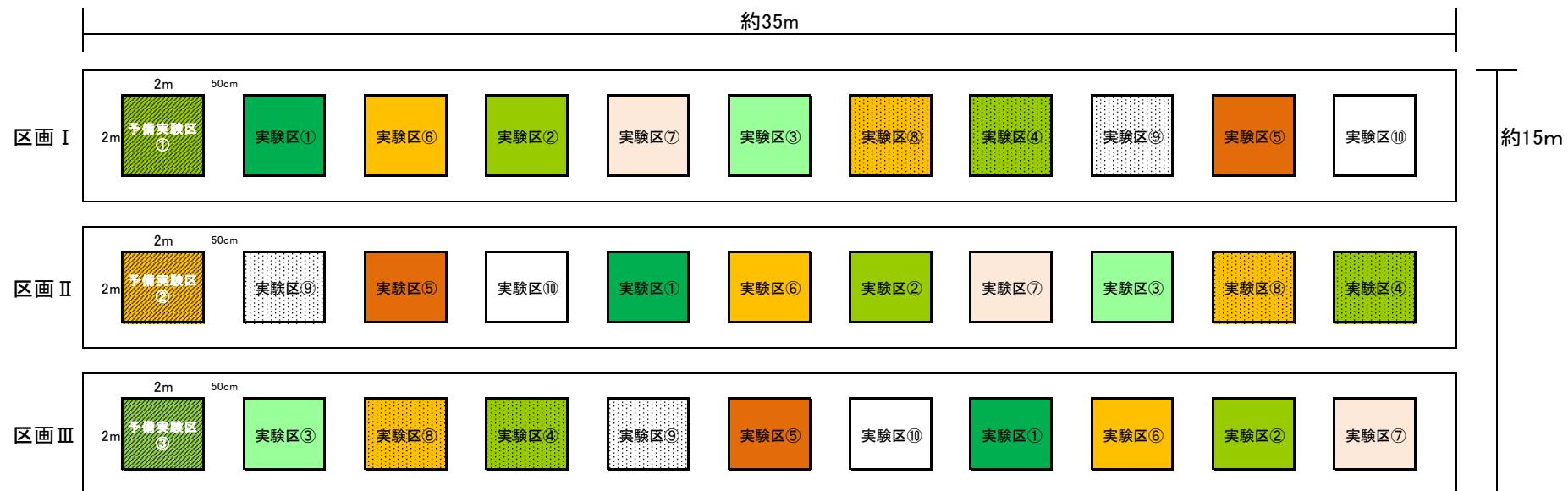


図 6 実験区の配置状況

(4) 実験区画の施工

実験区画の施工の流れは、図 7 に示すとおりである。

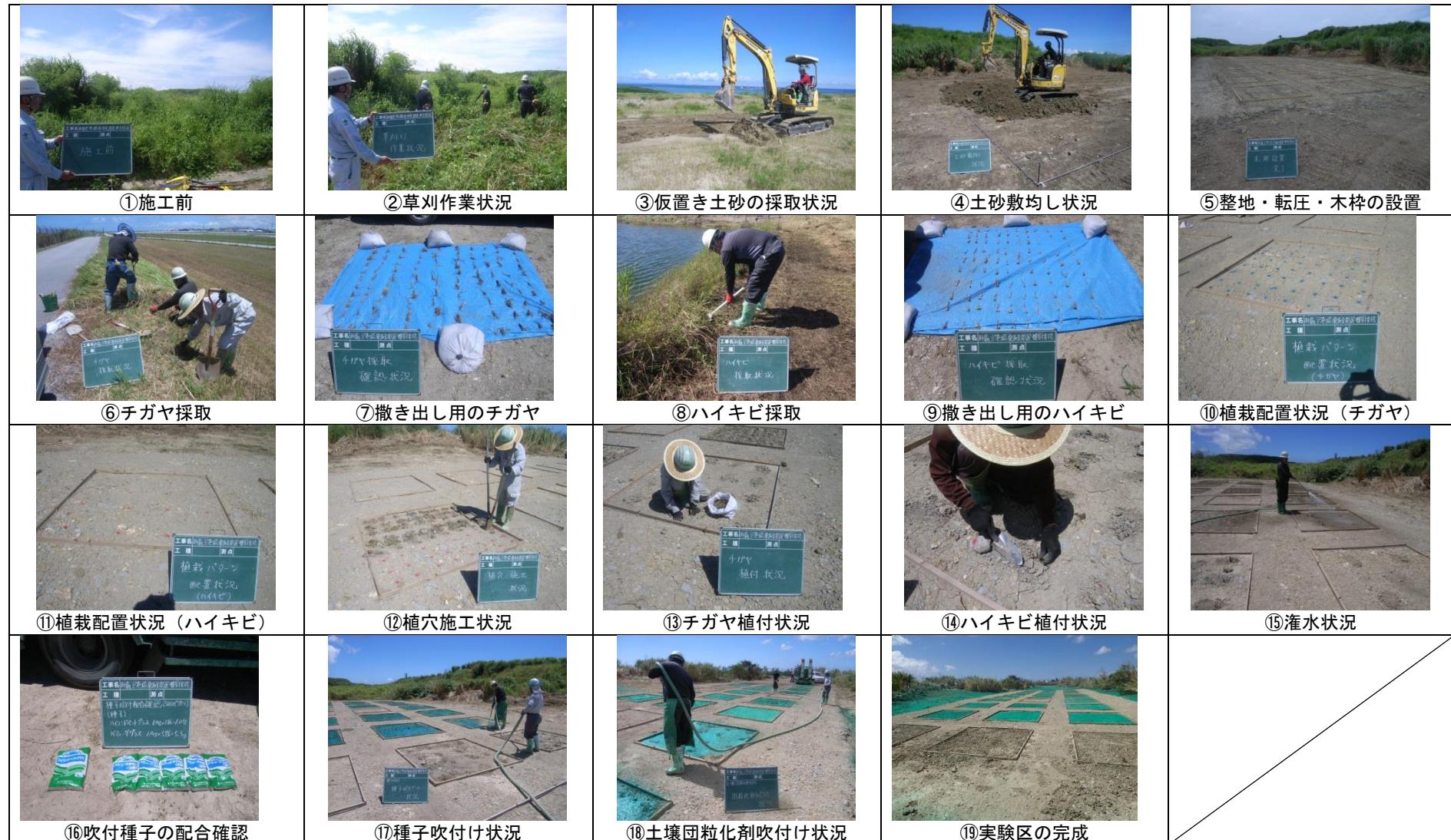


図 7 実験区画の施工の流れ

2.2.3 モニタリング

(1) モニタリング手法

モニタリング手法の概要は、表 4 に示すとおりである。

表 4 モニタリング手法の概要

項目	目的	内容
1) 植被率の把握	在来種への遷移促進効果	各実験区において、階層ごとの出現種の植被率（%）を記録し、2種混合材からハイキビ、チガヤへ遷移する状況を把握した。
2) 導入した緑化材の拡散状況の把握	周辺への緑化材起源の外来種拡散防止効果	実験前に周辺域を踏査し、植生状況を把握した。実験開始後、同様に周辺域を踏査し、導入した緑化材（ハイキビ、チガヤ、2種混合材）の周囲への拡散状況（実生・稚樹の侵出状況）を把握した。
3) 定点写真撮影	景観、鳥類利用抑制面での早期緑化効果	景観状況の把握及び裸地に営巣するコアジサシの利用抑制の観点から、播種・栽植した植物の生育状況を把握するため、同一地点・アングルで定点写真を撮影した。

(2) モニタリング時期

モニタリングは、表 5 に示すとおり、撒きだし直後、1週間後、2週間後、3週間後、1カ月後、2カ月後、3カ月後、4カ月後、6カ月後の9回とした。

表 5 モニタリング実施日

撒きだし直後：平成 26 年 7 月 16 日	施工後 2 カ月目：平成 26 年 9 月 19 日
施工後 1 週目：平成 26 年 7 月 24 日	施工後 3 カ月目：平成 26 年 10 月 17 日
施工後 2 週目：平成 26 年 7 月 29 日	施工後 4 カ月目：平成 26 年 11 月 17 日
施工後 3 週目：平成 26 年 8 月 5 日	施工後 6 カ月目：平成 27 年 1 月 16 日
施工後 1 カ月目：平成 26 年 8 月 13 日	



図 8 モニタリングの様子

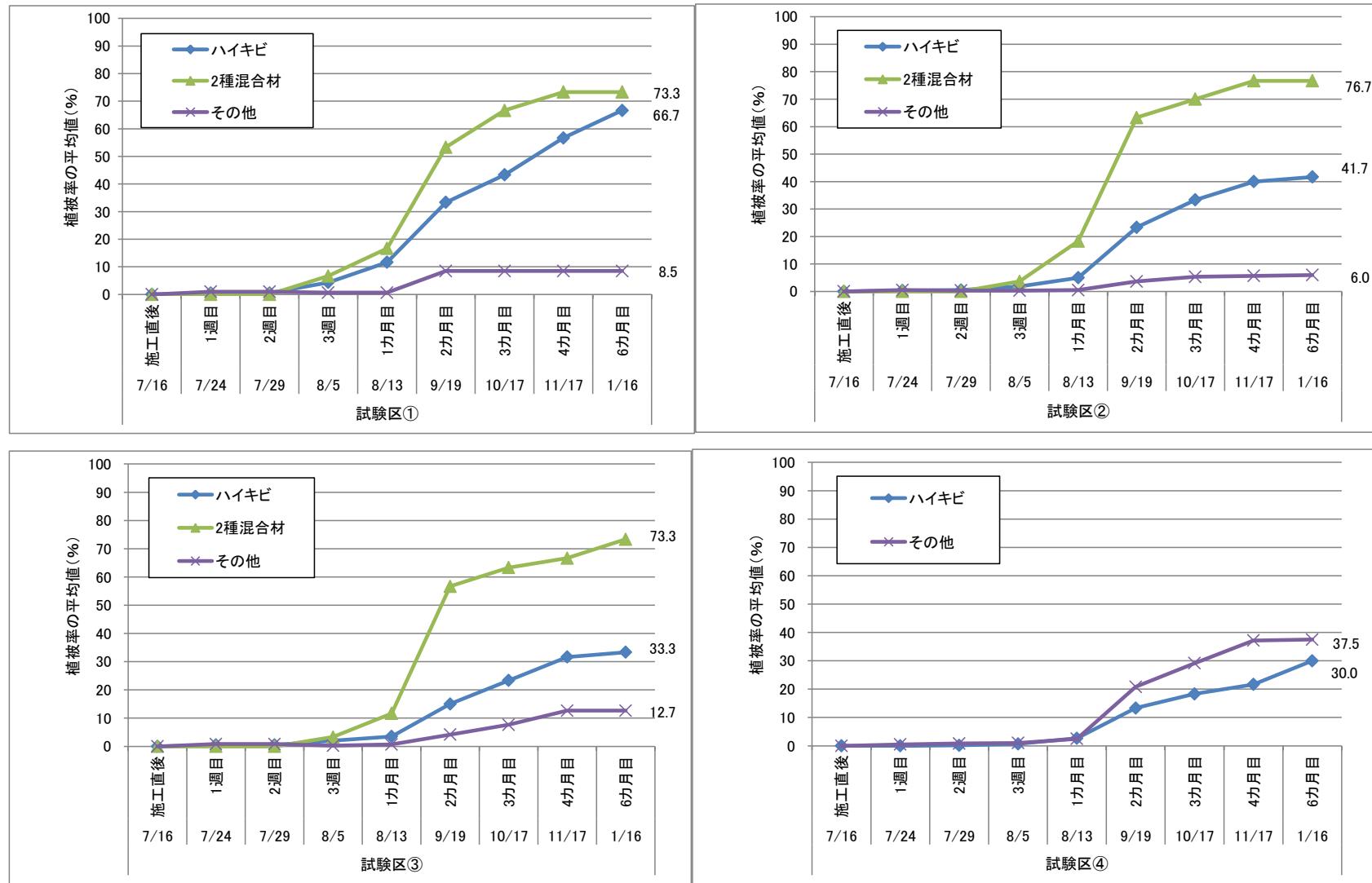
2.3 実験結果

実験結果を解析・考察し、当該区域において出現する裸地において有用な緑化資材並びに緑化方策について検討を行った。

表 6 実験区の状況（実験区①～④：ハイキビ関連実験区）

実験区	施工後 1 週目 (7/24)	施工後 3 週目 (8/5)	施工後 1 カ月目 (8/13)	施工後 2 カ月目 (9/19)	施工後 3 カ月目 (10/17)	施工後 6 カ月目 (1/16)
実験区① ハイキビ：高 2種混合材 団粒化剤						
実験区② ハイキビ：中 2種混合材 団粒化剤						
実験区③ ハイキビ：低 2種混合材 団粒化剤						
実験区④ ハイキビ：中 団粒化剤						

注) 施工直後及び施工後 2 週目については、施工後 1 週目と大差がないため図より省略している。また、施工後 4 カ月目は、施工後 6 カ月目と大差がないため図より省略している。



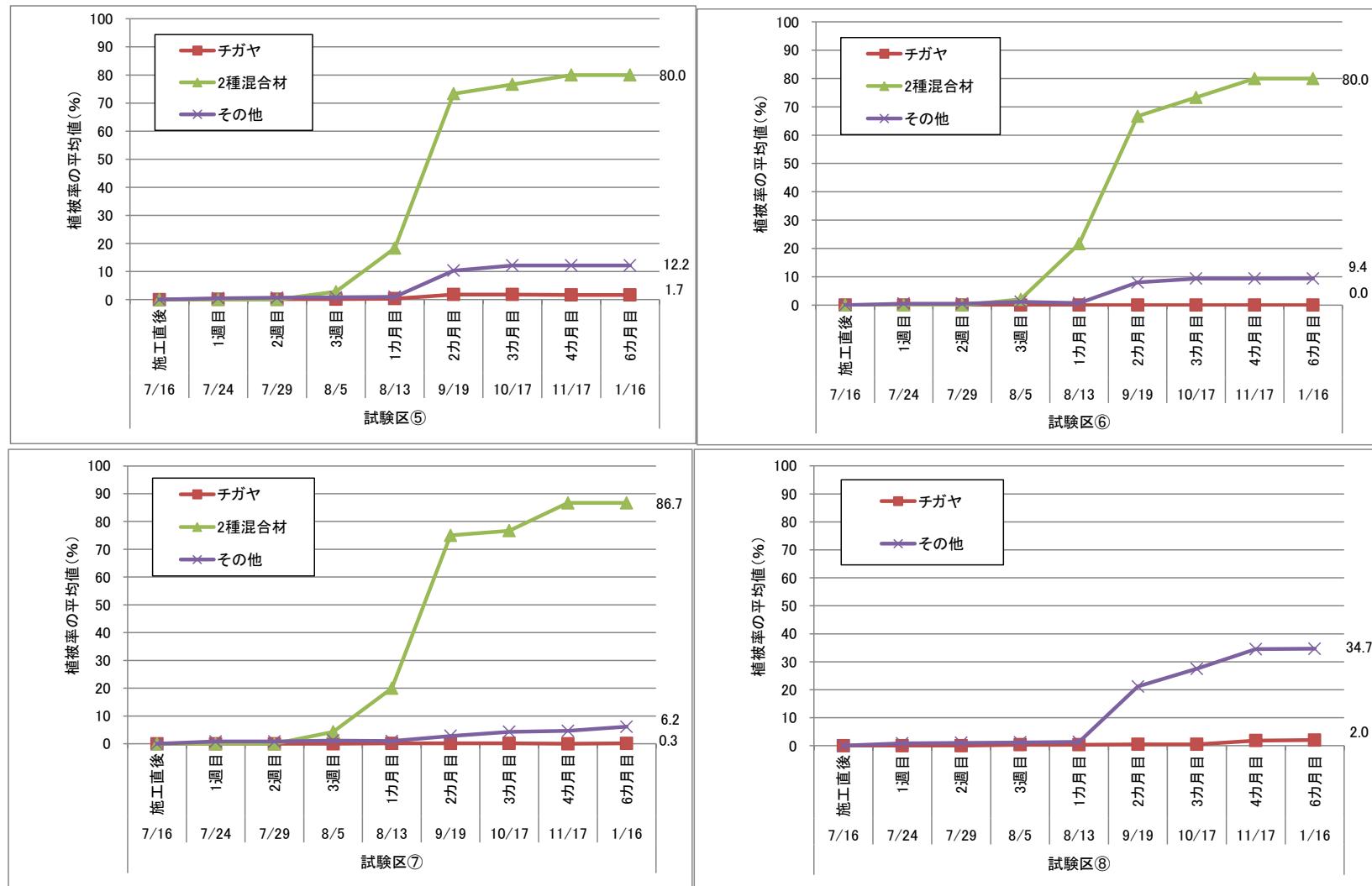
注： 図中の値は区画 I ~ III の植被率の平均値を示している。

図 9 植被率の推移 (実験区①～④ : ハイキビ関連実験区)

表 7 実験区の状況（実験区⑤～⑧：チガヤ関連実験区）

実験区	施工後 1 週目 (7/24)	施工後 3 週目 (8/5)	施工後 1 カ月目 (8/13)	施工後 2 カ月目 (9/19)	施工 3 カ月目 (10/17)	施工後 6 カ月目 (1/16)
実験区⑤ チガヤ：高 2種混合材 団粒化剤						
実験区⑥ チガヤ：中 2種混合材 団粒化剤						
実験区⑦ チガヤ：低 2種混合材 団粒化剤						
実験区⑧ チガヤ：中 团粒化剤						

注) 施工直後及び施工後 2 週目については、施工後 1 週目と大差がないため図より省略している。また、施工後 4 カ月目は、施工後 6 カ月目と大差がないため図より省略している。



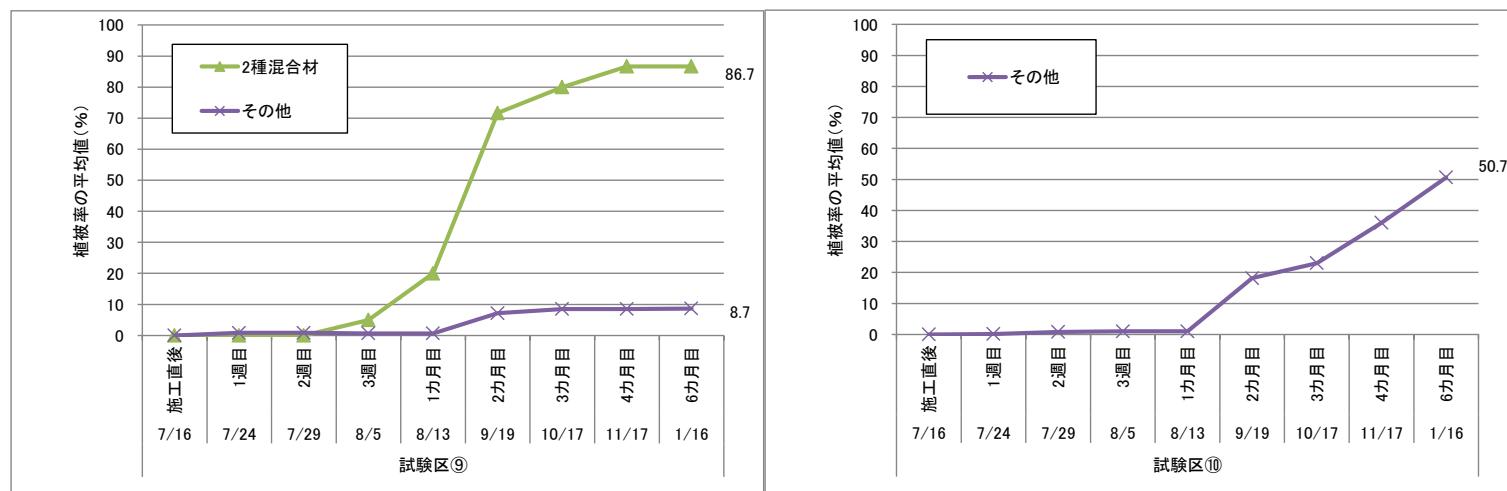
注： 図中の値は区画 I ~ III の植被率の平均値を示している。

図 10 植被率の推移 (実験区⑤～⑧：チガヤ関連実験区)

表 8 実験区の状況（実験区⑨、⑩）

実験区	施工後 1 週目 (7/24)	施工後 3 週目 (8/5)	施工後 1 カ月目 (8/13)	施工後 2 カ月目 (9/19)	施工後 3 カ月目 (10/17)	施工後 6 カ月目 (1/16)
実験区⑨ 2種混合材 団粒化剤						
実験区⑩ 対照区						

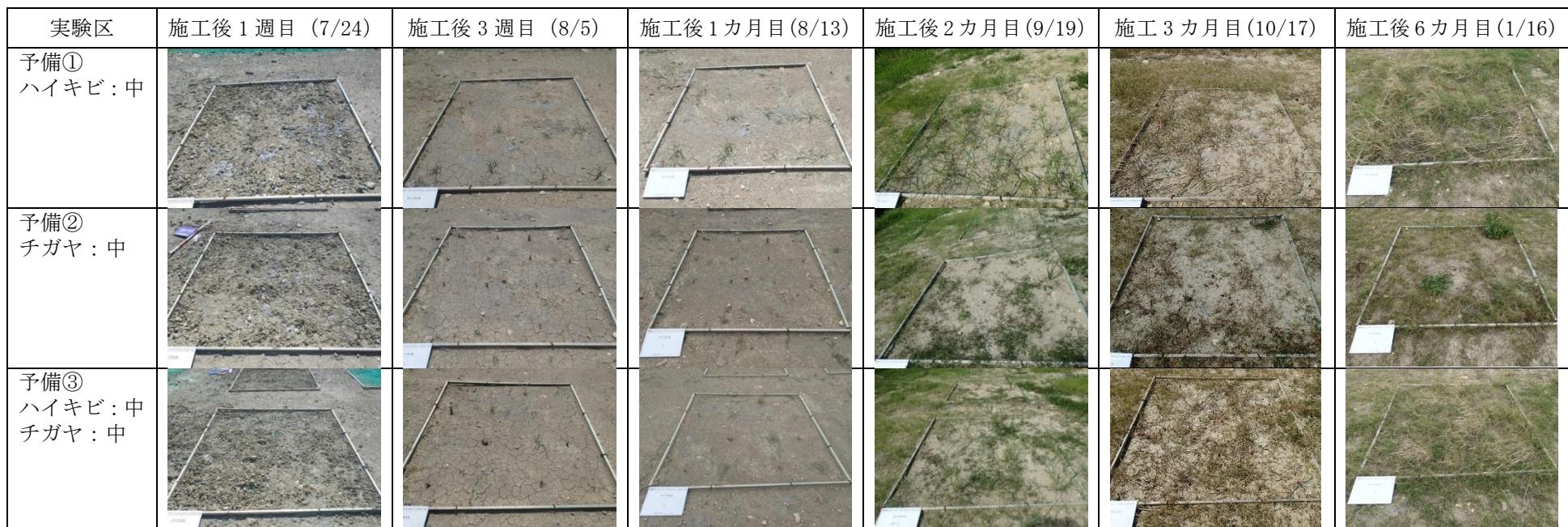
注) 施工直後及び施工後 2 週目については、施工後 1 週目と大差がないため図より省略している。また、施工後 4 カ月目は、施工後 6 カ月目と大差がないため図より省略している。



注： 図中の値は区画 I ~ III の植被率の平均値を示している。

図 11 植被率の推移 (実験区⑨、⑩)

表 6 (4) 実験区の状況 (予備実験区①～③)



注) 施工直後及び施工後 2 週目については、施工後 1 週目と大差がないため図より省略している。また、施工後 4 カ月目は、施工後 6 カ月目と大差がないため図より省略している。

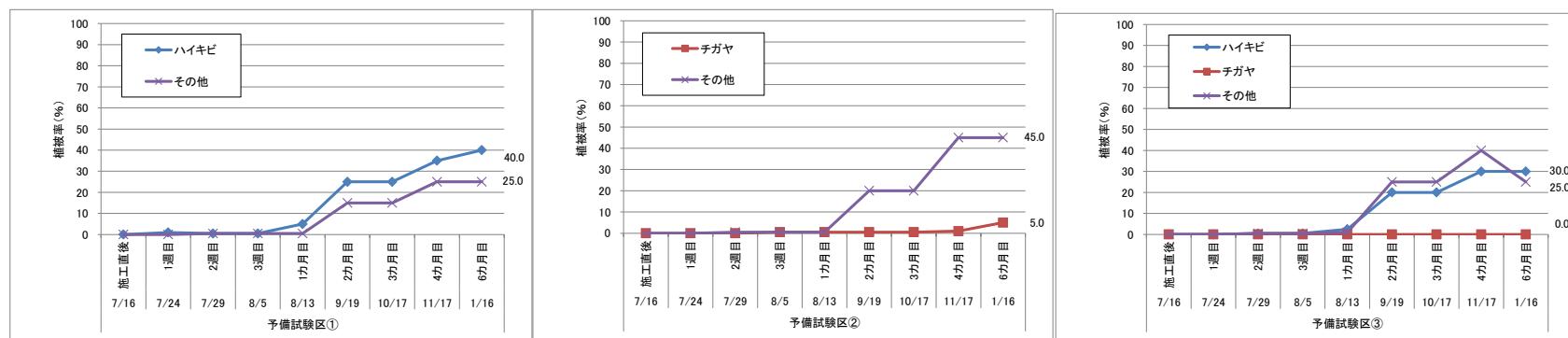


図 12 植被率の推移 (予備実験区①～③)

2.4 解析・考察

(1) 植被率の把握

1) 2種混合材の吹付による赤土等流出防止について

2種混合材由来のバミューダグラスは、各実験区ともに吹付施工後3週目に発芽しており、図13に示す降水量のデータをみると、7/30ごろにまとまった降雨がみられており、これを契機に発芽が促されたと考えられた。

2ヶ月目の状況は、図14に示すとおりであり、2種混合材のみを播種した実験区⑨で71.7%、ハイキビと併せて播種した実験区①～③において、2種混合材の植被率が53.3～63.3%と対照区と比較してやや低く、チガヤと併せて播種した⑤～⑦においては、2種混合材の植被率が66.7～75.0%と対照区と同程度であった。また、ハイキビ、チガヤ及びその他の植物を含めると、2種混合材により相観上、裸地部が被覆されていた。

以上のことから、播種後2ヶ月程度で、裸地面が植被され、赤土等流出防止対策として一定の効果は期待できると考えられる。

また、播種後6ヶ月では、2種混合材の植被率の伸びは10%前後にとどまっている。参考として、播種後6ヶ月の状況を図15に示す。

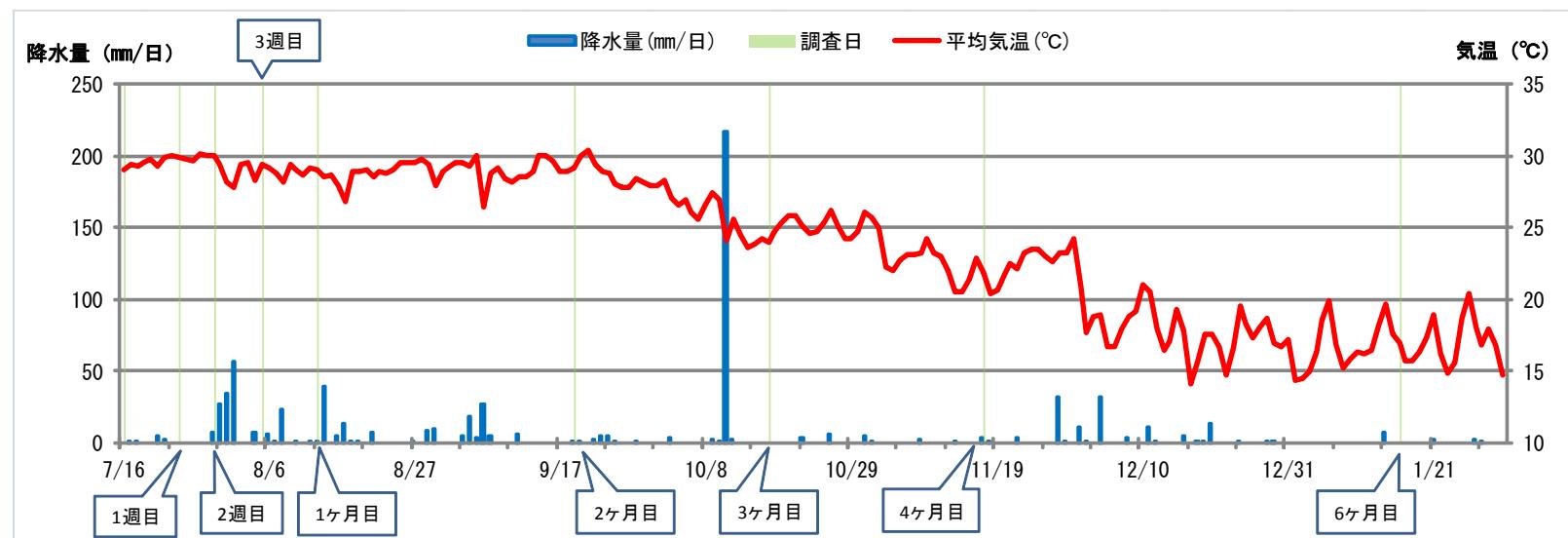


図13 実験区周辺の日積算降水量と平均気温(気象庁HP(安次嶺観測)より)

実験区①:ハイキビ(高)	実験区②:ハイキビ(中)	実験区③:ハイキビ(低)	実験区⑨:2種混合材
			
2種混合材：植被率 53.5%	2種混合材：植被率 63.3%	2種混合材：植被率 56.7%	2種混合材：植被率 71.7%
実験区⑤:チガヤ(高)	実験区⑥:チガヤ(中)	実験区⑦:チガヤ(低)	実験区⑩:対照区
			
2種混合材：植被率 73.8%	2種混合材：植被率 66.7%	2種混合材：植被率 75.0%	その他：植被率 18.2%

図 14 2種混合材を播種した実験区での2カ月後の状況

実験区①:ハイキビ(高)	実験区②:ハイキビ(中)	実験区③:ハイキビ(低)	実験区⑨:2種混合材
2種混合材：植被率 73.3%	2種混合材：植被率 76.7%	2種混合材：植被率 73.3%	2種混合材：植被率 86.7%
実験区⑤:チガヤ(高)	実験区⑥:チガヤ(中)	実験区⑦:チガヤ(低)	実験区⑩:対照区
2種混合材：植被率 80.0%	2種混合材：植被率 80.0%	2種混合材：植被率 86.7%	その他：植被率 50.7%

図 15 2種混合材を播種した実験区での6ヶ月後の状況

2) ハイキビの根（茎）の撒き出しによる在来の草本植生への遷移について

多くの試験区において、ハイキビは施工後1週目には葉がみられ、2種混合よりも早い段階で葉が確認された。その後、2週目から2ヶ月目まで植被率が増加傾向にあり、施工後2ヶ月目において、最大で植被率が平均値33.3%に達する試験区もみられた。ハイキビの植被率は、本種の栽植密度の高い試験区①（栽植密度16個体/m²）、試験区②（栽植密度4個体/m²）、試験区③（栽植密度1個体/m²）の順で高い傾向にあり、施工後2ヶ月では試験区①が全体の約1/4以上を優占していた。いずれの試験区においても早期の緑化という観点ではハイキビのみを栽植する手法では試験区は十分被覆できないと推測され、2種混合との併用が有効であることが考えられた。

ハイキビの植被率は、栽植密度が高い試験区ほど高い傾向にあり、施工後6ヶ月目では、高密度で66.7%、中密度で41.7%、低密度で33.3%であった。施工後6ヶ月時点ではハイキビが上層部、2種混合が下層部をそれぞれ優占し、共存の状況下にあった。また、試験終了後に予備試験区に生育するハイキビの根を掘り返したところ、根の状態は良好であり、今後はハイキビが拡大し、上層部を覆うことで遷移する可能性が考えられた。

実験区①:ハイキビ(高)	実験区②:ハイキビ(中)	実験区③:ハイキビ(低)
		
<ul style="list-style-type: none"> ●2種混合材、土壤团粒化剤 ●植被率：ハイキビ 66.7% 	<ul style="list-style-type: none"> ●2種混合材、土壤团粒化剤 ●植被率：ハイキビ 41.7% 	<ul style="list-style-type: none"> ●2種混合材、土壤团粒化剤 ●植被率：ハイキビ 33.3%
実験区④:ハイキビ(中)	予備実験区①:ハイキビ(中)	予備実験区③:ハイキビ(中)、チガヤ(中)
		
<ul style="list-style-type: none"> ●土壤团粒化剤 ●植被率：ハイキビ 30.0% 	<ul style="list-style-type: none"> ●植被率：ハイキビ 40.0% 	<ul style="list-style-type: none"> ●植被率：ハイキビ 30.0% ●植被率：チガヤ 0.0%

図 16 ハイキビの栽植密度が異なる実験区の状況（施工後4ヶ月目）



図 17 試験区のハイキビの根茎の状況

3) チガヤの根（茎）の撒き出しによる在来の草本植生への遷移について

チガヤは、施工後 1 週目に葉がみられた試験区も一部確認されたが、現時点ではチガヤを栽植した試験区の約 50% で葉がみられなかった。また、施工 2 カ月目のチガヤの最大の植被率は 1.8% と低い値となった。このことから、早期の緑化としてのチガヤによる被覆は難しく、2 種混合との併用で使用することが考えられた。

チガヤの植被率は、施工後 6 カ月目では、0.3~5.0% とさらに低い値となった。試験終了後に予備試験区に生育するチガヤの根を掘り返したところ、生存個体の一部根茎は、発達していたが、枯死した個体をみると、根は委縮しており、本土壤は成長に適していないと考えられた。



図 18 チガヤの葉の出現状況（左：葉がみられる個体、右：葉がみられない個体）



根茎は中心より片側 20cm程度まで拡大



赤丸で囲った部分が活性の高い根茎



根茎は中心より片側 5cm程度まで拡大



赤丸で囲った部分が委縮した根茎

図 19 試験区のチガヤの根茎の状況

4) その他

本実験で使用した土壤は、ジャーガル由来の灰色を帯びた粘土質で弱アルカリ性の土壤と推定され、湿ると柔らかいが乾燥すると硬くなる特徴を有していた（図 20）。このような植物が生育しにくい土壤で、2種混合材が発芽・定着したことは、一定の成果であると考えられた。

また、2種混合材由来の植物が優占することにより、土壤の保湿効果が高まり、ハイキビの生長が促進した可能性が考えられた。



図 20 実験区の土壤の状況（施工後 1カ月目：実験区②及びその周辺）

(2) 導入した緑化材の拡散状況の把握

1) 実験前の区画周辺の植生状況

実験前の区画周辺の植生としては、主にギンネムが優占する低木群落、ススキが優占する高茎草本群落、パラグラスやイトアゼガヤが優占する高茎草本群落、オカミズオジギソウ等の匍匐（ほふく）型の草本群落が確認された。

2) 実験後の周囲への拡散状況

実験区画直近の状況は、図 21 に示すとおりである。

実験開始後、台風等の降雨により 2 種混合材の一部が流出した可能性が考えられたが、周辺に逸出した状態は、施工後 6 カ月目では確認できなかった。緑化材であるハイキビについては、2 カ月後において、わずかに木枠を乗り越えてランナー（走出枝）を伸ばしていた様子が確認され、また、3 カ月後の段階で種子が形成されている様子が確認された。

実験前に実験区周辺で確認されていたパラグラスやイトアゼガヤ等のイネ科植物やオカミズオジギソウ等のマメ科植物が侵入する状況が観察された。このため、月 1 回程度、実験区周辺部の草刈を行った。

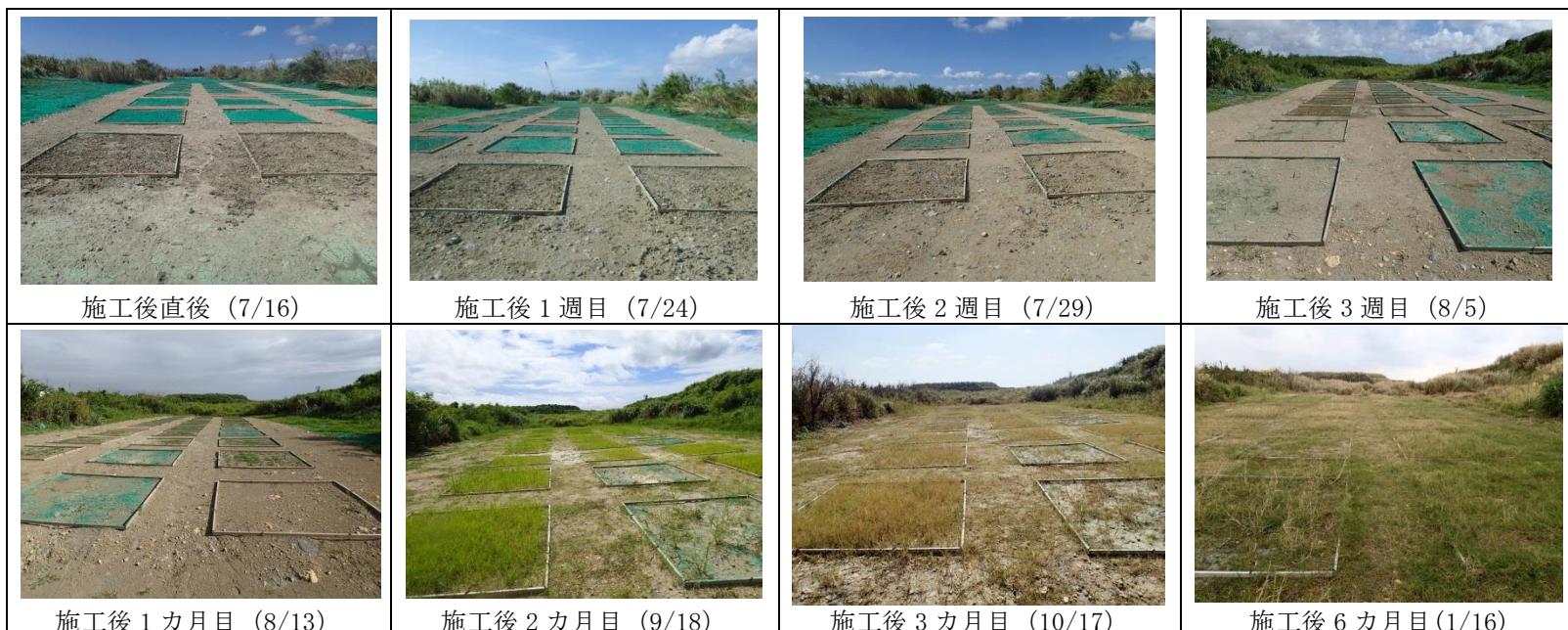


図 21 実験区画直近の状況

(3) 定点写真撮影（景観、鳥類利用抑制面での早期緑化効果）

実験区の定点写真撮影の状況を図 22 に示す。

繁殖が懸念されるコアジサシは草地環境を好まないため、草地化は有効な手段とされている（平成 26 年、環境省）。そのため、早期の緑化が有効である。種子吹付の施工を実施した試験区の全体の植被率の推移をみると、1 カ月目で 15.8%～29.0% の範囲にあり、2 カ月目で 75.8%～95.2% の範囲にあった。このことから、1 カ月目では若干裸地が目立つ状態と考えられ、施工後 2 カ月目ではほとんど裸地が目立たないことから、施工は繁殖時期の少なくとも 2 カ月前には実施する必要が考えられた。

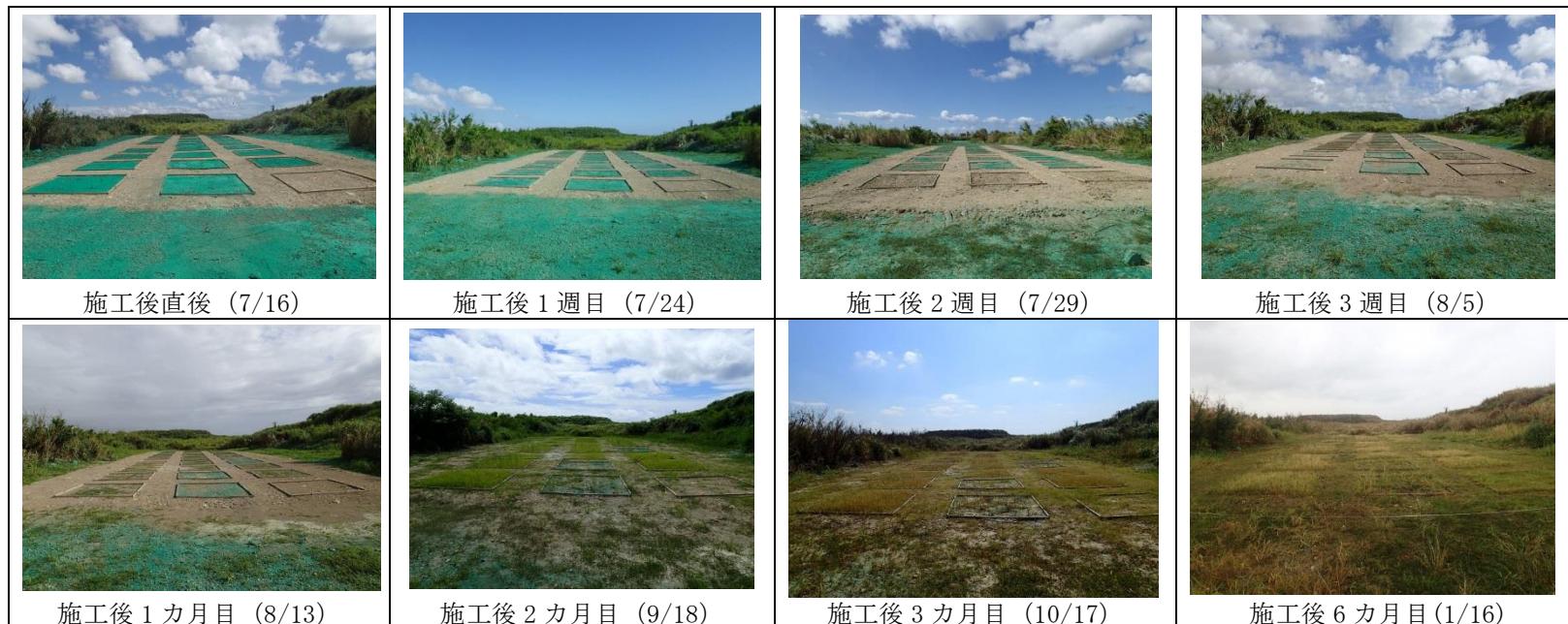


図 22 実験区の定点写真撮影の状況

(4) 今後の課題

表 9 今後の課題

No.	課題	対応
1	最新のデータを踏まえ、検討段階の在来の緑化材（ハイキビ・チガヤ）の調達の見通しが必要である。	<p>緑化材の分布等の把握（現地調査 H27.4～5月） 緑化対策に必要な緑化材の調達を念頭に陸域改変区域及びその周辺における緑化材として想定されるハイキビ、チガヤの分布や土壤などの植生状況を把握するために現地調査を行う。</p>
2	検討段階の在来の緑化材（ハイキビ・チガヤ）の特性を踏まえた施工計画の立案が必要である。	<p>陸域改変時の緑化材の把握 現地調査及び過去調査結果を踏まえ、緑化材の特性を把握し、陸域改変区域における緑化対策計画の基礎資料を作成する。</p>
3	「那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会」の委員意見より、これまで通り検証を進めることに加えて実際の施工状況に近づけて検討することも必要と考えられる。特に撒きだしの方法については、本試験では、在来の緑化材は手植えで行っており、本施工を考えた場合にはこの工程を簡略できるような方法を開発する必要がある。	<p>補足の緑化対策実験 今年度の試験結果を踏まえ、2種混合の吹付と併用する場合の複数の緑化材（ハイキビ、チガヤ）の撒きだし方法について試験する。（発芽状況がわかる3ヶ月程度を想定）</p> <p><試験条件></p> <p>条件①：緑化材が生育する土壤から根を取り出し、これらの根と土壤を混合したものを地盤に撒きだし、その後に2種混合および団粒化材を散布</p> <p>条件②：緑化材が生育する土壤から根を取り出し、これらの根と土壤を混合したものを地盤に撒きだし、その後に2種混合および団粒化材を散布</p> <p>条件③：対照区</p> <p><試験区画> 試験区画は、平成26年度の試験区画の一部を利用することを想定し、試験にあたっては、除草等を行い、試験区を事前に整備する。</p>

表 10 実験条件の組み合わせ

実験条件・実験区	ケース					数量
	1	2	3	4	5	
【対象：ハイキビ、条件①を想定】ハイキビが生育する土壤から根を取り出し、これらの根と土壤を混合したものを地盤に撒きだし、その後に2種混合および団粒化材を散布	○					3 実験区
【対象：ハイキビ、条件②を想定】ハイキビが生育する土壤を地盤に撒きだし、その後、耕耘機等で地盤ごと搅拌した後、2種混合および団粒化材を散布		○				3 実験区
【対象：チガヤ、条件①を想定】チガヤが生育する土壤から根を取り出し、これらの根と土壤を混合したものを地盤に撒きだし、その後に2種混合および団粒化材を散布			○			3 実験区
【対象：チガヤ、条件②を想定】チガヤが生育する土壤を地盤に撒きだし、その後、耕耘機等で地盤ごと搅拌した後、2種混合および団粒化材を散布				○		3 実験区
【対照区】 何なし					○	3 実験区
合計						15 実験区

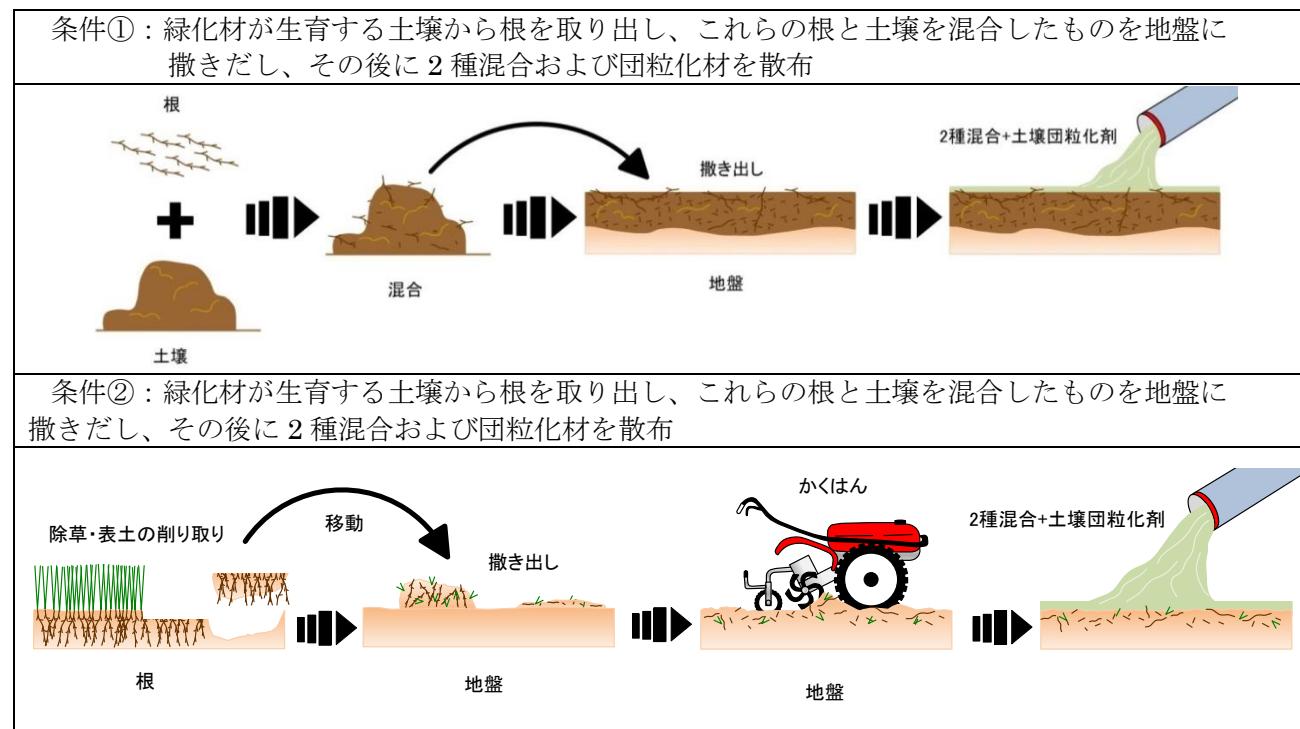


図 23 施工のイメージ