

# 特殊な環境（豪雪・強酸性立地）における 緑化方法の模索（馬曲川復旧治山工事）

北信森林管理署 治山課 治山第2係長 ○澤口 章一 さわぐち しょういち  
国土防災技術株式会社 緑環境事業部 田中 賢治 たなか けんじ  
タフグリーン工法研究会 事務局 井野 友彰 いのともあき

## 要旨

北信森林管理署が管轄する北信地域は、気象的にも地質的にも非常に変化に富んだ特殊な地域が多数存在していることから、復旧に苦慮する現場が多いです。今回、そのような現場のひとつであった馬曲川復旧治山事業における植生工の取組について、一定の効果を得ることができましたので報告します。

## はじめに

北信森林管理署が管轄する北信地域は長野県の最北部に位置し、日本有数の豪雪地帯として知られ、また西部には北信五岳の黒姫山、斑尾山、飯縄山等の火山群が見られる等、気象的にも地質的にも非常に変化に富んだ特殊な地域が多数存在しております。

そこには多様な森林や貴重で特有な植生が成立しており、これらを保全することは治山技術者の大きな課題のひとつです。しかしながら、その特殊で複雑な環境ゆえに復旧に苦慮する現場が多いのも事実です。今回そのような現場のひとつであった馬曲川復旧治山事業における植生工の取組について報告させていただきます。

## 1 現況

今回対象となった現場は、長野県下高井郡木島平村往郷山国有林143林班に位置し、斜面の規模は1.25ha、斜面の向きは南～東向きです。年間降水量は約2,000mmと多雨地域であり、積雪量は3～4mと6月まで残雪するような豪雪地域です。地質は変質安山岩で、土壌phは2.0～4.6と極強酸性立地と判断されます。湧水は滲み出し程度のものが局所的に見られますが、大部分は確認されませんでした。こ



こには以前に植生マット伏工が実施されていましたが、外来草本種の単一植生であったため、現在は衰退しています。以上のことから、この現場における課題点は、①極強酸性土壌であること、②豪雪地域であること、③外来草本種の単一植生、の3つとしました。この3つの課題について、実証試験や聞き取り調査等を実施しながら有効な手法・資材を模索し、設計に反映させることにしました。

## 2 設計

### (1) 極強酸性土壌

強酸性土壌の対策には、遮断・緩衝・中和の3つの手法が従来から実施されています。これらの手法にはそれぞれ一長一短がありますが、永続性及び深部まで酸性改良が期待できる手法が有効と思われたことから、当現場では、緩衝及び中和を組み合わせることになりました。

表.1 酸性対策

手法	長所	短所
遮断	酸性水の上昇を完全に遮断できる。 湧水箇所でも適用可能。	経済性が高い場合が多い。 遮断面が不透水層となり、崩壊することが示唆される。
緩衝	自然界のメカニズム。 酸性水の上昇を緩衝能力の高い有機質植生基盤で抑制する。	施工厚を決定する際に試験等が必要。 湧水が多い箇所では適用できない。
中和	最も安価で実施可能。 地山にアルカリ分が浸透し、中和することで、根域を広げることが可能。	効果が短期的となる場合がある。 強アルカリによる植物への影響が懸念される。 湧水が多い箇所では適用できない。

#### ア 緩衝機能の高い植生基盤の検討

緩衝機能とは、“加えた酸や塩基の作用を打ち消すような働き”を言います。下図は、各種資材の緩衝能力を比較した試験結果を図にしたものです。図中の◆は、対照資材の砂です。酸を加えれば酸性に、アルカリを加えればアルカリに反応しています。これは緩衝能力が低いことを表しています。この図では直線に近いほうが、緩衝能力が高いことを示します。一般的に有機物（植生基盤）はこれが高いことが知られていますが、その中でも腐植土を混入させた植生基盤（資材B）が最も高く、当現場では有効と判断しました。

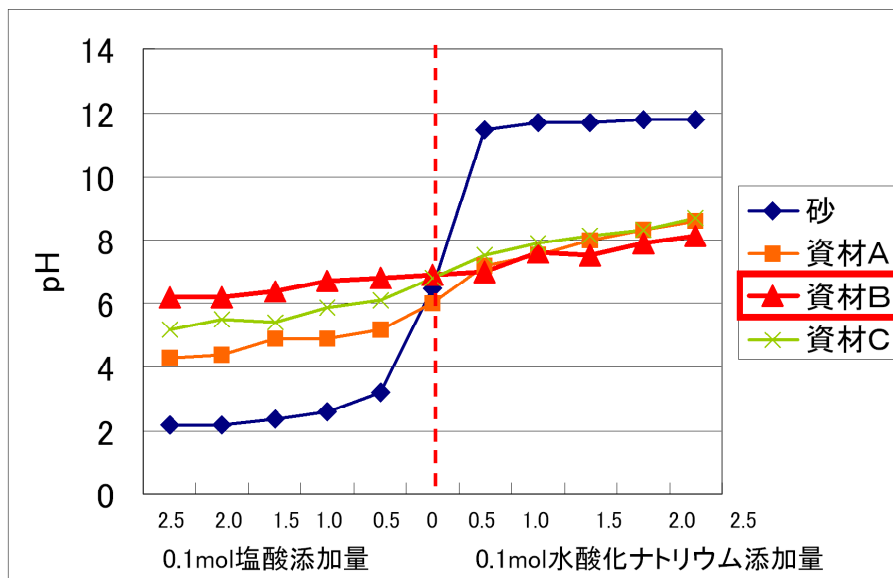


図.1 緩衝機能比較試験結果

## イ 中和材の検討

中和材には、消石灰をはじめいくつかの種類が知られています。

それらの特性を比較した結果、下表にあるように持続性が高く、塩基流亡に伴う塩類障害が発生しにくい、また改良材としても農業分野で実用例の多い環境資材である竹炭が当現場では最も有効と判断しました。

表.2 中和材比較表

項目	消石灰	炭酸カルシウム	貝殻粉材	耐酸性微生物	人工ゼオライト	竹炭
即効性	◎	◎	◎	△	○	○
持続性	△	△	○	△	○	○
塩基流亡	△	△	△	○	○	○
付加効果	○	△	△	△	△	○
実用例	○	○	○	△	△	○

## ウ 中和材の配合量の検討

中和材の導入量については、当現場の極強酸性土壌pH=2.1を採取し、そこに中和材として選定した竹炭を加える中和試験の結果に基づいて決定しました。なお目標値は、道路土工指針で定められている土壌改良を検討しなくていい値の下限值として示されているpH=4.0としています。

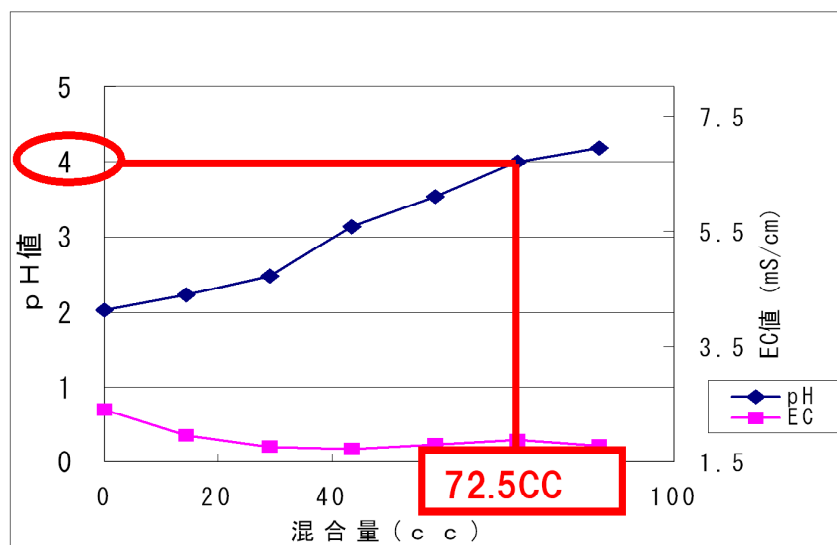


図.2 中和材配合試験結果

## エ 発芽・生育試験

ここまでの試験において、緩衝材として期待する植生基盤の種類と中和材として期待する資材の選定、配合量が決定しました。次に現地を再現した培地を作成し、実際に植物の発芽・生育状況を確認することで、基盤厚の決定やこれまでに選定した資材の効果を確認しました。早期に結果を把握するために外来草本種を使用しましたが、4cm厚が植物の生育状況が最も良好で、根系も試験培地の底面まで伸長が確認されましたので、この基盤厚及び配合で実施することとしました。

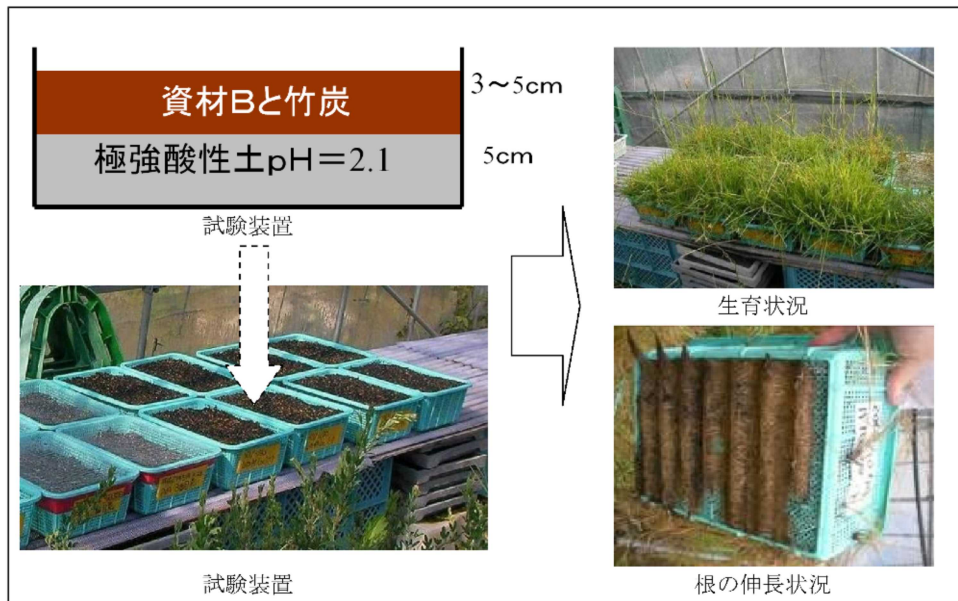


図.3 配合試験結果

(2) 雪に対する対策

雪に対する課題については、①物理的な障害（引っ張られ）、②融雪水による基盤や地山の浸食を課題として考えました。

ア 物理的な障害

雪に対する物理的な障害に対する対策として、新潟県等の降雪の多い地域で多くの施工実績があり、また当署でも近年採用している、亀甲金網やラス金網を上面に敷設する手法を採用することとし、当現場では、施工性等を考慮し亀甲金網を選定しました。



写真2 施工例

イ 融雪水による基盤や地山の浸食

融雪水による浸食対策ですが、ピーク時には日降雨量50mmに相当する水が斜面に流入する試算結果もあり、植生基盤が浸食されることは植生の復元に悪影響を与える可能性が高いので、これを抑制するために、土壌浸食防止マットを敷設することにしました。

この土壌浸食防止マットは時間雨量100mmの降雨試験でも、高い耐浸食性があることが確認されています。

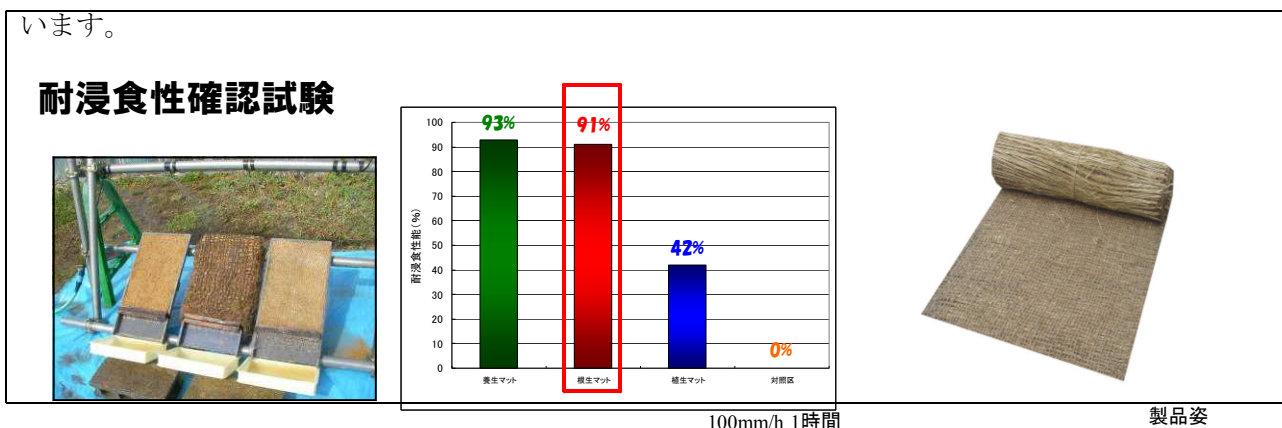


図.4 耐浸食性確認試験結果

### (3) 単一植生に対する対策

外来草本種の単一植生にしない対策は、以下の流れで種子配合に反映させました。

#### ア 周辺の植生調査

当現場周辺の植生調査を実施し、導入できる在来植物種の有無を調査しました。この結果、酸性立地に比較的強いヤマハンノキやススキ等、適用できそうな植物種を把握することができました。

ここで確認された植物種は、当現場周辺での適応性が高いことを自らが生育していることで証明していることから、導入種選定において高い評価を与えることとしました。

#### イ 導入種選定

先の植生調査結果をもとに、緑化目標を郷土種や導入種による植生復元と定め、これが実現できるような導入種を現地の気候や生育状況等から判定し、7種類を選定しました。

表.3 導入種選定表

植物種名	種区分	現場生育	耐酸性	耐寒性	耐乾性	耐瘦地性	判定
ヨモギ	在来・草本	○	○	○	○	○	○
ススキ	在来・草本	○	◎	○	◎	◎	○
メドハギ	在来・草本	○	○	○	◎	◎	○
ヤマハギ	在来・木本	○	○	△	◎	◎	○
ヤマハンノキ	在来・木本	○	○	◎	○	◎	○
クリーピングレッドフェスク	外来・草本	○	—	◎	○	○	○
レッドトップ	外来・草本	—	—	◎	△	◎	○

#### ウ 種子配合

種子配合は、外来草本種を減じ、一定期間は土壌浸食防止マットで斜面保護が実施できるので、周辺からの郷土種の侵入も期待できるように、生育に時間がかかる在来種を多く配合しています。

表.4 種子配合

植物種名	発生期待本数(本/m <sup>2</sup> )
ヨモギ	50
ススキ	50
メドハギ	400
ヤマハギ	100
ヤマハンノキ	200
クリーピングレッドフェスク	100
レッドトップ	100

### 3 対策工の構造と施工

#### (1) 対策工の構造

これまでの結果を反映させた対策工の構造を説明します。まず緩衝能力の高い植生基盤と竹炭を混合した植生基盤を4cm吹付けます。この中には種子・肥料・特殊短繊維が含まれています。その上に亀甲金網を併用した土壌浸食防止マットを敷設しました。

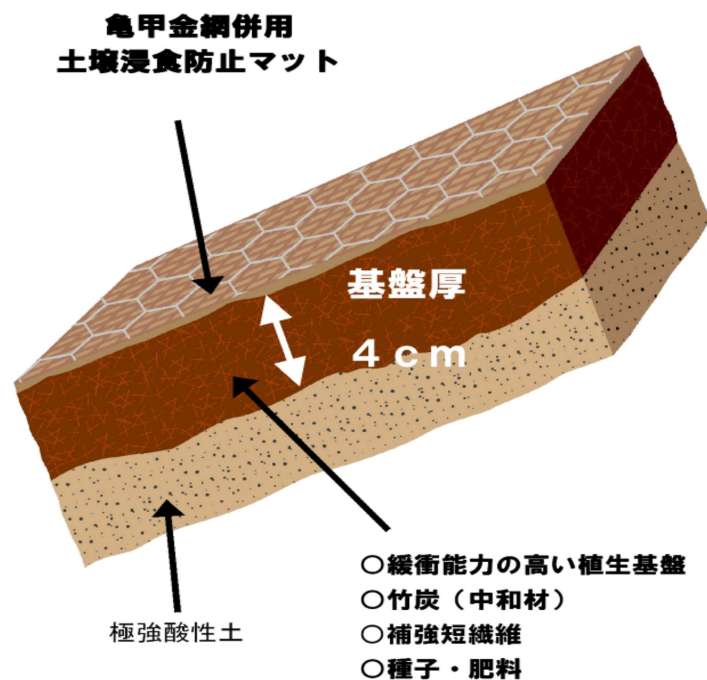


図.5 対策工の構造

## (2) 施工

施工は2010年7月～9月、約5,200㎡実施しました。



写真3 吹付状況



写真4 マット敷設状況

## 4 追跡調査

特殊な環境で在来種や郷土種を主体とした植生復元を目標にしていることから、通常の短期的な植生判定（施工3ヶ月後）でなく、長期的な判定とし、植生基盤や中和材の緩衝・中和機能の評価や雪に対する耐浸食性、植生調査における種の多様性等を従来の評価手法に加えて、総合的に判定することとしました。

### (1) 緩衝・中和効果検証

緩衝・中和効果を検証・評価するために、第4回調査時（施工約2年）に、現場を数箇所GL-30cmまで掘削し、深度ごとに土壌pH及び土壌硬度、植物の根の伸長状況を確認することにしました。この結果、多くの箇所で、下図のような結果を得ることができました。すなわちGL-4cmまでの植生基盤は、

土壌pHが中性に近く、当初とほとんど変化していない状態であることが確認できました。緩衝機能が発揮されていることが推測されます。また、それ以深のGL-10cm程度は、地山の土壌pHが緩和されており、植物の生育可能な値となっていました。中和効果が発揮されたことが示唆されます。これは土壌硬度とも関係がありそうで、風化が進んでやや緩んだ部分に、竹炭から溶出したアルカリ溶液が浸透し、中和されたものと推測されます。これらの現象から、緩衝・中和効果はある程度発揮されているものと判断しました。

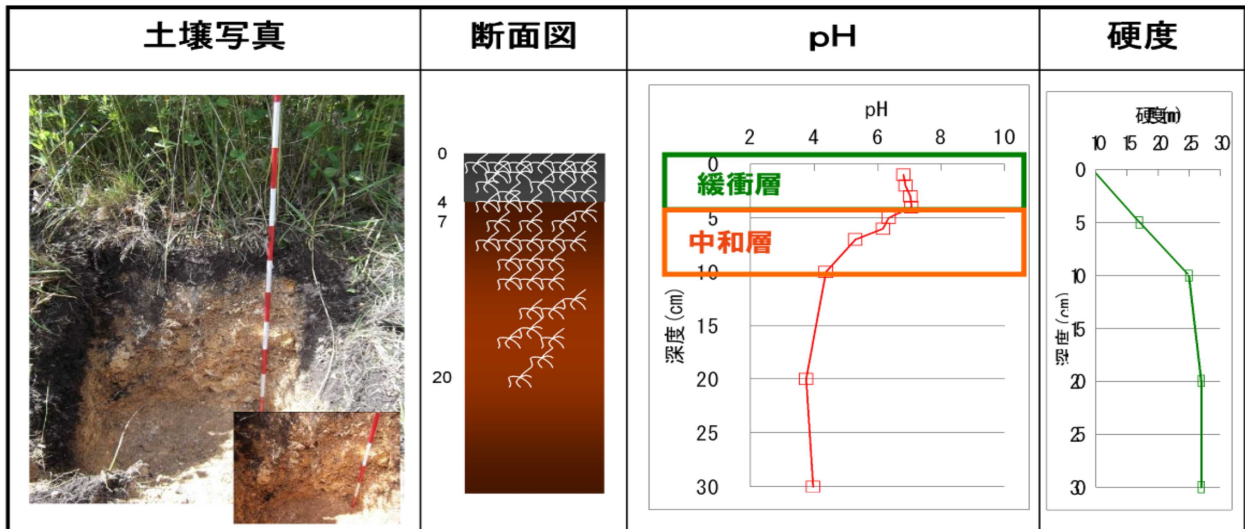


図.6 土壌断面調査結果

(2) 植生基盤の機能の検証

植生基盤の質が劣化することは、植生の衰退を意味します。そこで施工時に記録していたものと、第2回調査、第4回調査で記録していた各種調査結果を比較し、劣化具合を評価しました。その結果、緩衝能力については、施工時とほぼ同様の結果が得られました。保肥力を示すCECや肥料分量を推測できる土壌EC値については、ややバラツキが見られましたが、農業分野で適用されている適正值と比べると問題のない範囲と推測されました。したがって、植生基盤の劣化も現在のところ見られないと判断しました。

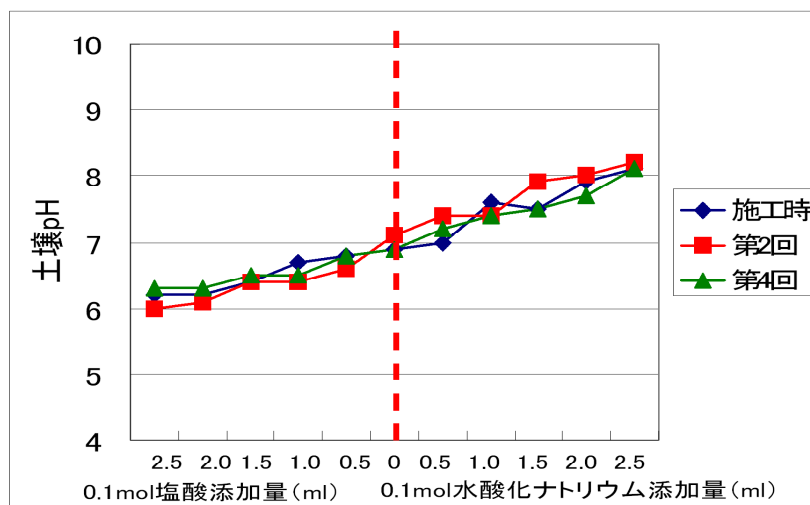


図.7 緩衝機能比較試験結果

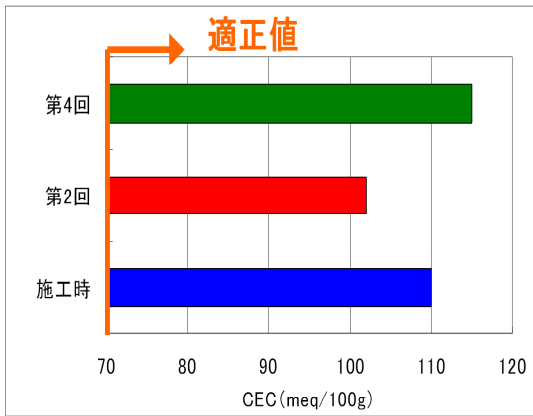


図.8 CEC比較結果

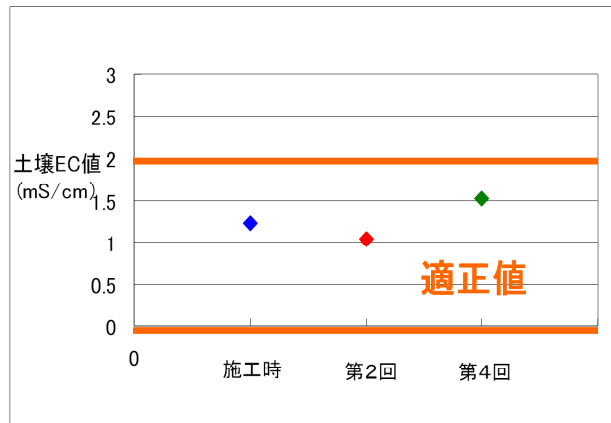


図.9 土壤EC比較結果

### (3) 全景比較調査結果

全景比較調査結果を示します。まず植生状況ですが、第1回調査（施工8ヶ月経過）では植被率10%程度でしたが、第2回調査（施工約1年経過）では30%、第4回調査（施工約2年経過）では70%程度まで増加しています。施工約2年で植物の被覆及び緊縛力により斜面保護ができる程度になってきました。この間に2回の積雪・融雪期を越えましたが、写真にあるように、植生基盤や地山の浸食はほとんど確認されていません。したがって、これらの間の斜面保護は概ね土壤浸食防止マットが機能していたと判断されます。



写真5 第1回調査（施工8ヶ月後：5月）



写真6 第2回調査（施工約1年：8月）



写真7 第3回調査（施工1年8ヶ月後：5月）



写真8 第4回調査（施工約2年：8月）



#### (4) 植物相調査結果

植物相調査とは、対象斜面に生育する植物種の種類を調べる調査です。第1回調査では、一部の導入種と残存していた郷土種のみが確認されていましたが、第2回調査では、導入したすべての植物種の発芽・生育が確認されました。第3回調査以降は、導入種に加え、郷土草本種が多く侵入してきていることが確認できました。第4回調査では、郷土木本種の侵入も多く確認されるようになり、40種類を超える植物種が確認されるようになりました。この中には、周辺の森林を構成しているブナやミズナラ、ヤナギ類や、また貴重な蝶であるオオヒカゲの食草であるテキリスゲ等の郷土草本種も侵入し、多様な植生となりつつあることが窺えます。

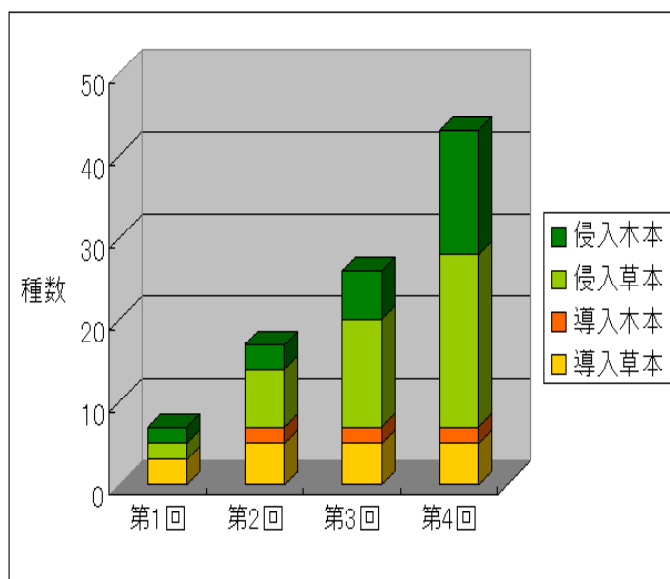


図.10 タイプ別出現種数



写真9～14 確認された植物種

#### (5) まとめ

追跡調査結果をまとめます。

ア 緩衝層として期待した植生基盤と中和効果を期待して導入した竹炭が現在のところ、効果を発揮しています。

イ 植生基盤の劣化は確認されませんでした。

ウ 施工2年が経過し、植被率も70%程度まで増加しています。この間の大部分は土壌浸食防止マットによって植生基盤の流出が抑制できています。

エ 導入したすべての植物種が生育し、周辺からの郷土種の侵入も30種類以上認められます。

オ その中には周辺の森林を構成する木本種や貴重な虫の食草となる草本種等も見られ多様な植生となりつつあります。

これらの結果から、現在のところ、概ね目標とする植物群落に移行可能な植生基盤・植物群落が造成できていると判断しました。

## 5 課題

一方で課題点として施工2年で土壌浸食防止マットの耐久性が低下した箇所がありました。これは滲み出すような湧水があった箇所（約100㎡）で発生しており、分解性のマットの耐久性が低下したことが原因と考えられます。現在、この箇所にはマットの素材と金網の種類を変更した製品に張り替え、検証を行っています。

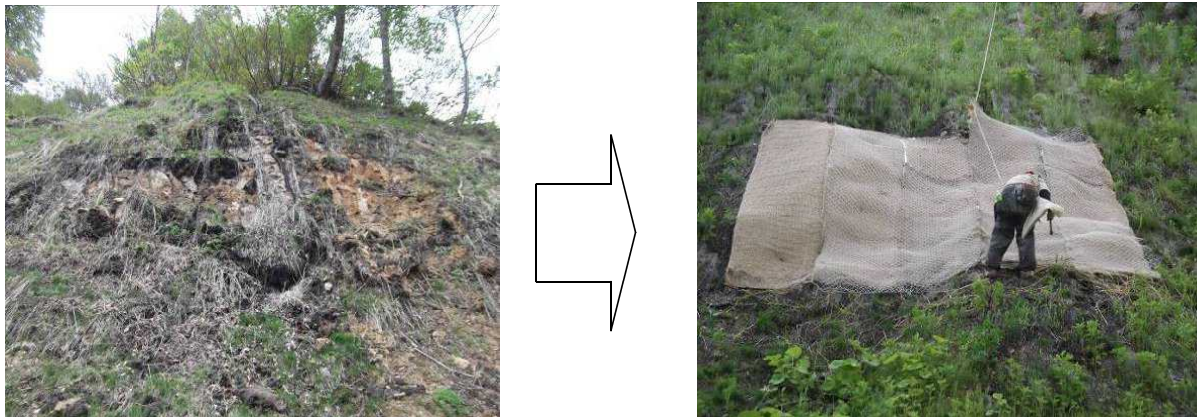


写真15～16 課題点の再検証状況

## 6 おわりに

特殊な環境における当現場においては、画一的な植生工の手法のみでなく、事前の調査や新規資材の実証試験の結果に基づいた対策工を検討し施工した結果、一定の成果を得ることが出来ました。このような取組が、こうした環境に適応した郷土植生を早期に復元させることや、生態系保全にも寄与するのではないかと考えています。今後も追跡調査を継続し、復元の経過を把握するとともに、他にも存在する特殊な環境に対しても、このようなアプローチにより緑化手法を模索していきたいと思えます。