

平成25年度

# 酸性硫酸塩土壌が出現した切土法面での 自生植物を利用した緑化

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○宍戸 政仁  
伊東 佳彦  
田本 修一

酸性硫酸塩土壌が出現する切土法面では、通常の植生工を施工しても発芽しない、または発芽しても経年的に衰退するなどの事例が見られ、問題となっている。一方、北海道内の法面緑化には外来牧草種が多用されてきたが、環境に対する社会的認識が高まり、生物多様性に配慮した緑化工法等が注目されている。本報では、酸性土壌法面に対して自生植物（在来種）を利用した法面緑化手法を試行し、適用性および留意点についてまとめるとともに、本手法を適用する際の手順をフローチャートとして提案した。

キーワード：法面緑化、酸性硫酸塩土壌、自生植物

## 1. はじめに

高規格道路などの建設工事のトンネル坑口部や橋梁区間などでは、大規模な切土斜面を造成する事例が多く見られる。泥岩や細粒砂岩などの海成堆積岩や熱水変質岩が分布する地域では、土壌 pH が 3.5 を下回るような酸性硫酸塩土壌（以下、酸性土壌 と略す）が切土法面に出現する場合がある。このような酸性土壌は、北海道に広く分布しており<sup>1)</sup>、出現する法面では、通常の植生工を施工しても発芽しない、または、発芽しても経年的に衰退するなどの事例がしばしば見られる。また、雨水による侵食や風化が懸念される箇所では、法面の安定性に関わる重要な問題となる。従来、酸性土壌の対策工法としては、石灰やソイルセメントを混合した中和工法などが用いられてきたが、過剰施用や効果の永続性に課題が残る。

一方、北海道内の法面緑化に用いられる植物は、生育が早く、種子が大量かつ安価に入手可能な外来牧草種（例えばトールフェスク）が多用されてきた。しかし近年、環境に対する社会的認識の高まりとともに、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）」が施行(2005年)されたり、生物多様性国家戦略が決定(2010年)されるなど、土木工事で行う緑化には、外来種の使用に慎重にならざるを得ない状況となっている。

本報告では、積雪寒冷地における自生植物を用いた酸性法面植生工法の構築を目的として、北海道内に自生する植物を用いた各種室内栽培試験ならびに、実際に酸性土壌が産出する切土法面において現地栽培試験を行い、各植物の法面植生工としての適用性について

検討した結果を報告する。

## 2. 調査及び試験の方法と結果

### (1) 既存資料文献調査

酸性土壌の判定、および、使用する植物種の選定を行う場合には、計画される切土法面近傍において行われた、土壌分析結果や確認される在来種の植生調査などの既存資料などがあれば収集し、参考とすることが望まれる。

今回の研究では、切土法面箇所において、土壌

表-1 使用した植物

植物名/学名	科名 属名
エゾヌカボ	イネ科 ヌカボ属
<i>Agrostis scabra</i> Willd.	
ウラジロタデ	タデ科 オンタデ属
<i>Aconogonon weyrichii</i> (F. Schmidt) H. Hara	
オオヨモギ	キク科 ヨモギ属
<i>Artemisia montana</i> (Nakai) Pamp.	
コメススキ	イネ科 コメススキ属
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.	
ススキ	イネ科 ススキ属
<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.	
ヒメノガリヤス	イネ科 ノガリヤス属
<i>Calamagrostis hakonensis</i> Franch. et Savat.	
トールフェスク※	イネ科 ウシノケグサ属
<i>Festuca arundinacea</i>	

※トールフェスクは法面緑化に多く使用されている外来種で、比較対照として用いた。

pH(H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、総硫黄Sなどの分析を行うとともに、法面緑化に関する既存文献調査<sup>2) 3)</sup>により、耐酸性を有するとされる在来種を選定した。また、他の地域ではあるが、鉱山跡地の酸性土壌地帯に自生する植物を調査し、耐酸性を有する在来種の抽出を行い、表-1に示す植物6種を対象として研究対象とした。

## (2) 種子採取調査

在来種の種子は、一般的に市場に出回っていないことが多い。また、その自生している場所や採取性、種子の精選率（未熟、不稔種子を除いた精選種子純度）なども不明な場合が多いため、種子の採取性や精選率など、種子の確保に必要な項目について検討した。

施工地周辺、および、他の地域で種子採取調査を行った結果を、表-2に示す。エゾヌカボ、ウラジロタデ、ススキが採取性、精選率とも良好であり、種子供給に関して十分に確保が可能な種と考える。ヒメノガリヤスは、採取地は良好だが、精選率が不良であった。

## (3) 室内栽培試験

在来種の発芽、生育特性は、一部の詳細な研究をされている種を除いて不明な場合が多い。採取した種子については、種子配合などを検討するためにも、発芽率や生育特性について把握する必要がある。

前項で採取した種子を用いて、低pHや低温度での発芽特性を把握する目的で水耕栽培試験、実際の酸性土壌での発芽、生育特性を確認する目的で、現地から採取した酸性土壌を用いた室内栽培試験<sup>4)</sup>を行った。

### a) 水耕発芽試験

水耕発芽試験（pH調整、温度調整、種子前処理の有無）は、濾紙を敷いたシャーレに、上記7植物の種子を播種し、恒温器内で発芽させた。

pHに対する発芽率の変化を図-1に示す。通常条件で発芽率の高いススキとトールフェスク（以降、TF

表-2 種子採取調査の結果

	採取性	採取地	精選率(%)
エゾヌカボ	○	○	62.1
ウラジロタデ	○	○	94.7
コメススキ	△	×	90.8
ススキ	○	○	85.0
ヒメノガリヤス	△	○	17.4

採取性: 採取のしやすさ

採取地: 採取地(自生地)の豊富さ

精選率: 未熟、不稔種子等を除いた精選種子純度

という)は、低pHでも発芽率が低下しなかった。エゾヌカボ、オオヨモギ、コメススキは、低pHで発芽率の低下が見られた。

低温条件および種子前処理に対する発芽率の変化を図-2に示す。低温条件において発芽率が大幅に低下する種は、ススキであった。エゾヌカボ、コメススキ、ヒメノガリヤスは多少の発芽率の低下が見られた。

種子前処理の効果が明確であった種は、エゾヌカボ、ススキ、コメススキ、ヒメノガリヤスであり、イネ科の種で発芽率を向上させる効果が高いことが分かる。

### b) 室内栽培試験

室温を15℃以上に設定した温室内で、室内栽培試験を実施した。使用した土壌は、既存の調査結果により酸性硫酸塩土壌であることが確認されている堆積岩および熱水変質岩の各1試料、および比較の目的で通常土（鹿沼土）の合計3試料である。

室内栽培試験の結果を図-3に示す。熱水変質岩は、数種で発芽が確認されたが、その後、枯死したためにここでは示していない。チャート図は、TFの通常土での生育状況を100%とした場合の、各植物の状況を示している。酸性土壌の影響を受けない種は、ススキ、コメススキ、ヒメノガリヤスであった。ただし、ヒメノガリヤスについては発芽率が低いため、ススキ、コメススキが優勢であった。酸性土壌にも強いとされるTFは、既報<sup>4)</sup>において酸性土壌での根長および根と葉

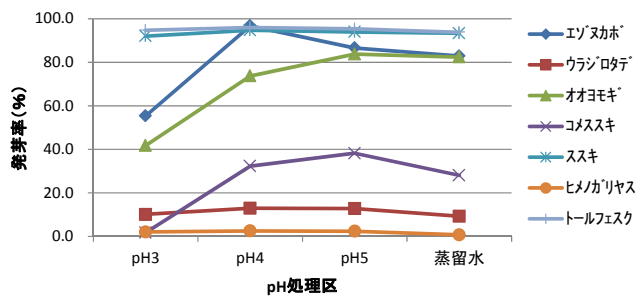


図-1 pHに対する発芽率の変化（播種後4週間）

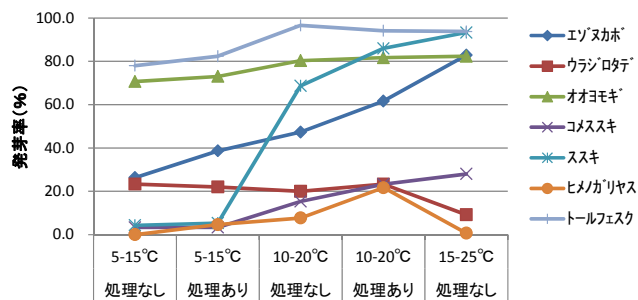


図-2 低温条件および種子前処理に対する発芽率の変化（播種後4週間）

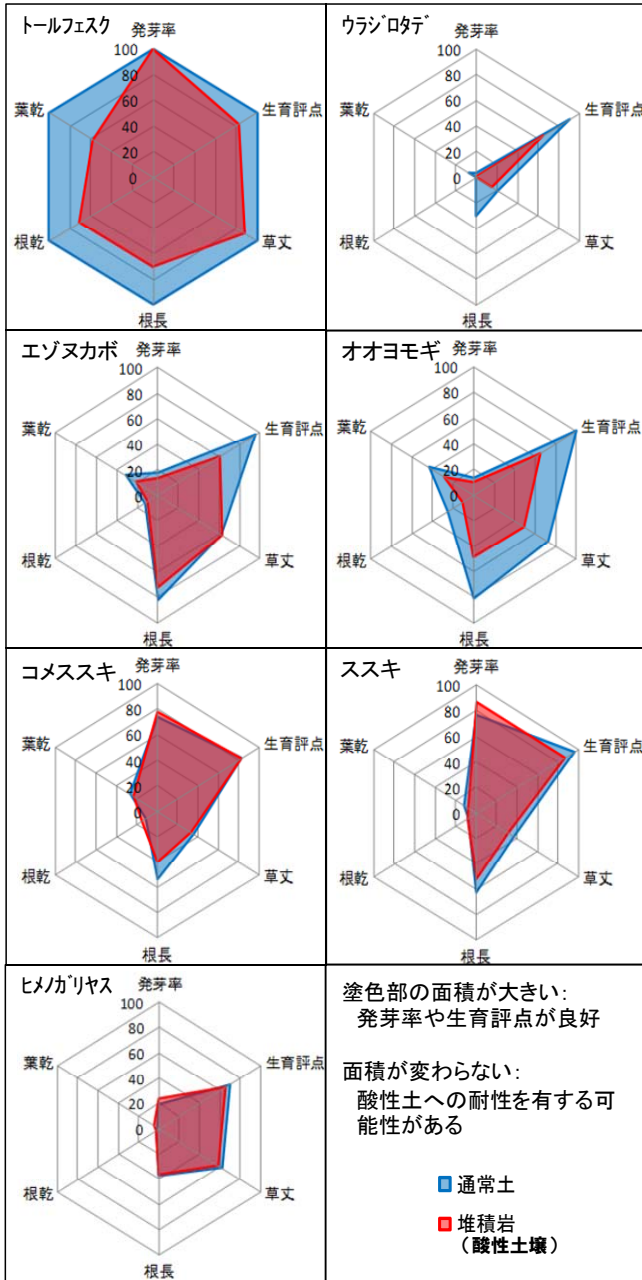


図-3 室内栽培試験結果

の乾燥重量が、通常土よりも30%~40%程度低下することを確認した。

#### (4) 現地栽培試験

##### a) 現地栽培試験箇所

現地栽培試験を行った箇所は、図-4 に示す北海道南部に位置し、新第三紀鮮新世茂辺地川層の泥岩を主体とする切土法面で、未風化部は pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)が 2.2、総硫黄 S が 0.713%を示すことが確認されている酸性硫酸塩土壌<sup>5)</sup>である。切土直後は暗灰色を呈しているが、数日経過すると表面に石膏と考えられる白色鉱物の析

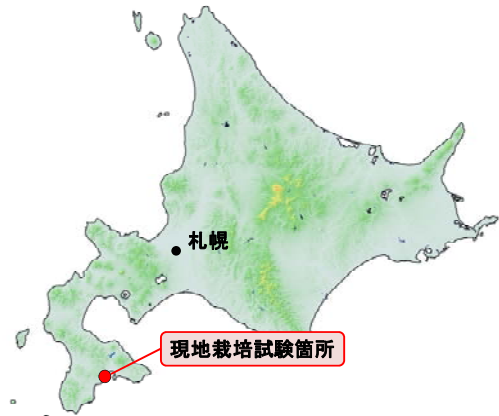


図-4 現地栽培試験箇所

出が見られ、試験箇所近傍の同層を対象とした切土法面では、約 1 年後の時点で法面の植生が衰退している状況が確認されている。

##### b) 現地栽培試験の概要

北向き・南向き 2 方向の切土法面に、図-5 に示す区画 (南北同様) を設定し、植物種ごとの中長期の生長特性を把握する目的で単播 (7 種)、植物同士の競合や被圧に関する検討を行う目的で混播 (3 パターン) の 2 種類の試験を行った。

施工方法は、通常の厚層基材に表-3 に示す種子配合で手ごねにより混合し、法面に貼り付けた。基材厚は、法面の土質および岩質、法面勾配、土壌硬度、風化の程度および亀裂間隔などの条件に基づき 7cm に設定した。

試験は 2010 年 11 月より開始し、施工後 1 年半 (2 回の越冬) 経過後、単播部および混播部の植生の繁茂状況について、試験区毎に詳細な調査を行った。調査項目は、単播部・混播部ともに植被率、発芽本数、草丈、草高としたが、ここでは主に植被率について述べる。

表-3 各試験区の種子配合

草種名	科名	発芽期待数 (株/m <sup>2</sup> )			
		単播	混播①	混播②	混播③
ススキ	イネ	500	500	500	
コメススキ	イネ	500	500	500	
エゾヌカボ	イネ	500	500	500	
ウラジロタデ	タデ	100	100	100	
ヒメカササギ	イネ	100			
オオヨモギ	キク	200	200	0	
TF	イネ	500	500	0	2,000
CRF	イネ				1,500
KBG	イネ				1,500
計			2,300	1,600	5,000



図-5 試験区画の割付け（写真は北向き面）数字の単位はmm

### c) 単播試験区

単播試験区の草種別植被率の推移を図-6に示す。北向き面のコメススキおよびススキの試験区では、2012年6月に行った1回目の調査で、一部の試験区に基材の崩壊が確認された（図-5）。比較的湧水の多い箇所であるため、融雪期の出水により崩壊したものと考えられる。この直下のエゾヌカボ試験区は、崩壊土砂に埋もれてしまい、調査を継続することが困難となった。また、7月の調査時には、北向き面のウラジロタデとオオヨモギが人為的に刈り捨てられており、植被率が低下しているが、その後、旺盛な生長により回復している。南向き面では、ススキの試験区において多少の崩壊が見られている。

10月の調査時点において、南向き面のエゾヌカボ・ヒメノガリヤス・ウラジロタデ・TF・オオヨモギにおいては植被率で90%以上となっており、良好に生育していることが確認された。コメススキについては北向き面の小崩壊、南向き面では上部からの侵入種の影響により参考値とした。ススキについては、北向き面の試験区が崩壊していたため、南向き面のみで見ると、夏以降に植被率が60%を超える状況となっていた。

### d) 混播試験区

混播試験区における草種別植被率の合計の推移を図-7に示す。

混播①は、ヒメノガリヤス以外の全ての草種を配合した試験区であるが、草種別の植被率を見ると、北向き面ではTFが優勢であり、次いでウラジロタデ、オオヨモギという割合で推移している。9月以降の調査でウラジロタデが確認できていないのは、生育のピー

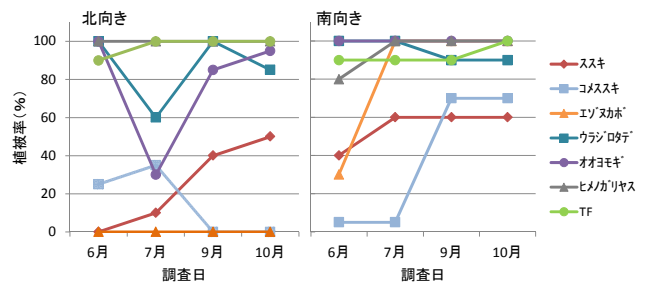


図-6 単播区における草種別植被率の推移

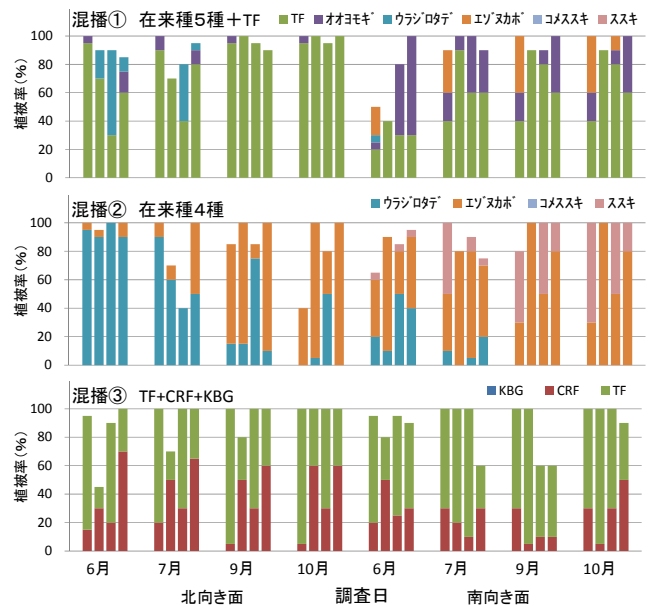


図-7 混播区における草種別植被率の合計の推移

クが8月頃であり、それ以降は徐々に地上部が衰退していく様子が現れている。南向き面では、TFが優勢であるが試験区によってはオオヨモギ、エゾヌカボの占める割合が多くなった。以上の結果より、TFが優

勢ではあるものの、植被率が 60%を超えており、従来配合よりも外来牧草種を大幅に減らした配合で法面緑化が実施可能であると考えられる。

混播②は、混播①から外来牧草種 TF および競合が懸念されるオオヨモギを除いた配合である。図-7 より、北向き面では 6 月～7 月まではウラジロタデが優勢であり、その後、エゾヌカボが優勢となっている。それに対し、南向き面ではウラジロタデの割合が少なく、エゾヌカボ、ススキが優勢となる結果であった。以上の結果より、試験区により差はあるものの、植被率は概ね 60%に達しており、在来種 4 種の配合により法面緑化が実施可能であると考えられる。

混播③の結果を見ると、TF が優勢ではあるが、北向き面の方が南向き面と比較し CRF（クリーピングレッドフェスク）の割合が多くなっている。これは、TF よりも CRF の耐陰性に優れているためと考えられる。また、KBG（ケンタッキーブルーグラス）については、すべての試験区において生育は確認されていない。

### 3. 考察

#### (1) 酸性法面への在来種（6草種）の適用性

これまで行われた種子採取調査や室内栽培試験および現地栽培試験結果を基に、試験に用いた在来種 6 種について、草丈や生育状況などを含めて総括を行った結果を、表-4 に示す。ここでは主に、現地栽培試験の結果について述べる。

植被率は、単播部で 60%以上を良好と判断し、混

播部では混播①において TF に被圧されずに発芽生長が確認された種および混播②の試験区において植被率が 60%以上を占めた種を良好とした。南北の差については、水分条件や日照条件に左右されるが、今回の試験結果から考察すると、北向き面は南向き面に比べて水分条件がよいと考えられ、混播①では、TF の生育が他草種よりも早く良好であったものと推測される。南向き面では、日照を受けることで 6 月頃まで乾燥していたものと考えられ、比較的各草種の生育に大きな差がつかなかったものと推測される。このように、法面の方角などにより優勢となる植物が異なること、草種により生育時期や生育速度に大きなばらつきがあることなど、それぞれの植物の特性には十分注意する必要がある。また、施工から 2 年経過後の調査では、試験区ごとに発芽や生育に差があるものの、在来種のみを配合した混播部でも植被率は概ね 60%を超えており、良好な生育が確認できたことから、在来種のみによる法面植生が十分に実施可能であると考えられる。

水耕栽培試験や室内栽培試験、現地法面における単播および混播での生育状況を確認し、表-4 に示すような総括を行うことによって、エゾヌカボ、ウラジロタデ、オオヨモギなどの在来種のみを用いた法面植生が実施可能であり、北海道内における法面植生工への適用性が高いと考える。ススキ、ヒメノガリヤスは、酸性土壌への適応性が高く、低発芽率などの課題を解決することで、適用性が向上すると考えられる。ただし、今回の結果からは、酸性硫酸塩土壌の影響による植生状況の経年変化について確認できなかったため、今後も追跡調査が必要であると考えられる。

表-4 対象とした在来種の総括一覧（例）

種名	種子採取 採取性 精選率	水耕発芽試験				室内栽培試験 酸性土壌への 適応性	現地栽培試験								種子参考価格		総合 評価
		通常pH・ 温度での 発芽率	低pHでの 発芽率	低温での 発芽率	種子前処 理の効果		単播部			混播部				種子単価 (円/m <sup>2</sup> )	種子 単価比 (vs TF)		
							発芽	生育	南北	発芽	生育	南北	TF相性				
エゾヌカボ	○	○	△	△	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	138	29.7	○
ウラジロタデ	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	720	156	○
オオヨモギ	市販	○	△	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	△	40.8	8.82	○
ススキ	○	○	○	×	○	○	×	△	×	△	△	×	×	×	196	4.79	△
コメススキ	×	△	×	×	○	○	×	×	○	×	×	○	×	×	953	205	×
ヒメノガリヤス (単播部のみ)	△	×	×	×	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	118,000	25,600	△
トールフェスク	市販	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	-	4.63	1.00	-

※トールフェスクは北海道内において法面緑化に多く利用されている外来牧草種で、比較対象として用いた。

採取性・精選率 ○：良好、△：やや不良、×：不良  
 発芽試験（通常、pH、低温） ○：高い、△：やや低い、×：低い  
 発芽試験（種子前処理） ○：効果がある、×：効果がない  
 室内栽培試験（酸性土壌） ○：影響を受けない、×：影響を受ける

発芽・生育 ○：良好、×：不良、△：どちらでもない  
 南北 ○：南北で差がない、×：大きく差が出る  
 TF相性 ○：TFとの混播で生育がよい、×：悪い、△：どちらともいえない

## (2) 在来種を用いた酸性法面植生手法

本検討の結果から得られた知見より、在来種を用いた酸性法面植生を行う際に、把握すべき植物の特性を検討し、配合を設計するためのフローチャート（案）を図-8にまとめた。

まず、施工予定地の周辺において既往の植生調査が行われていない場合は、周辺の植生調査を行い、酸性硫酸塩土壌において自生している在来種の抽出を行う。このとき、人為的な改変のない自然地山での調査が望ましい。同地域で行われた既往の文献・調査結果が存在する場合は、その中から耐酸性を有する可能性のある植物を候補として選定することができる。

次に、抽出した在来種の流通性の有無を確認する。在来種は市場に流通していない種がほとんどであるが、オオヨモギなどの一部の種については、既に市販されている場合もある。市販されていない種については、施工地周辺での種子採取を行い、その草種の特性が明らかでない場合は、発芽試験や室内栽培試験を行い、発芽率や耐酸性などの特性を把握する必要がある。

各種試験の結果を検討し、緑化植物として適用できる可能性のある種については、その発芽率や生長特性を考慮し、要求される緑化目標に適し、実際の施工に適する配合を設定する。

法面緑化には、施工地周辺の在来種を用いることが望まれるが、在来種は種子の流通がほとんど無いことや、その発芽特性、生育条件などが不明な種が多いことから、各種調査試験により種子の採取性や特性を把握することが重要である。

## 4. まとめと今後の課題

積雪寒冷地の切土法面において酸性硫酸塩土壌が産出した場合の緑化手法検討として、在来種による試験に用いた6草種（ススキ、コメススキ、エゾヌカボ、ヒメノガリヤス、ウラジロタデ、オオヨモギ）に関する種子の採取性、発芽・生育状況、混播した場合の生育状況、適応する環境など、法面植生への適用を検討した。その結果、各在来種の総括表（案）を提示し、エゾヌカボ、ウラジロタデ、オオヨモギの適用性が高いことを示した。また、研究から得られた知見をもとに、在来種を用いた酸性法面緑化フロー（案）を示した。

今後の課題として、引き続き経年変化を確認するための調査を継続し、基盤の酸性化や植物の繁茂・衰退

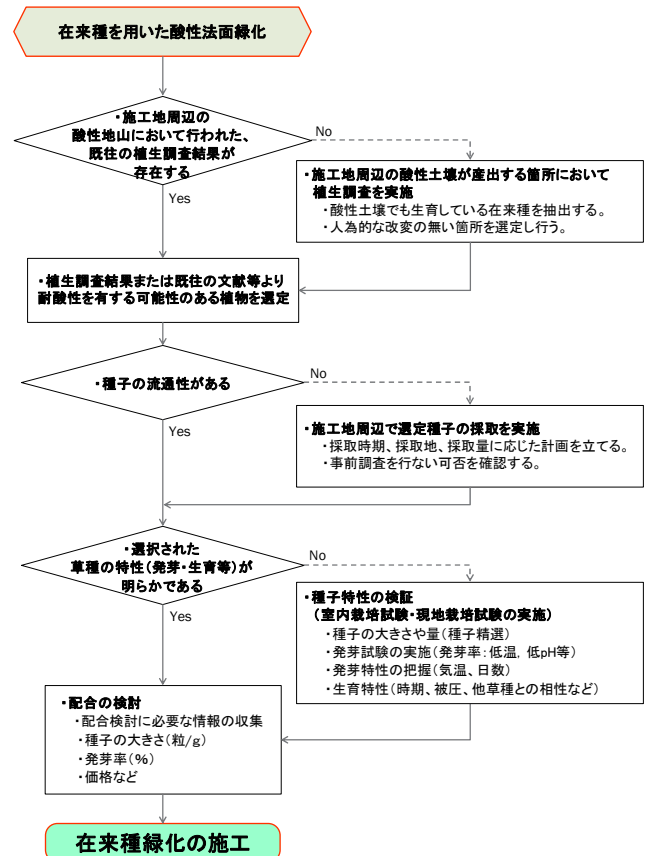


図-8 在来種を用いた酸性法面緑化フロー（案）

状況、長期的な生育特性、種子の供給の問題について検討する必要があると考える。

謝辞：本研究の実施にあたり、北海道開発局函館開発建設部ならびに北斗市より栽培試験箇所の提供を頂いた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 石田哲也、中谷利勝、石井邦之、平野正則、片山勝、細川博明、長畑昌弘、幸田勝、西山章彦、蛭名健二：北海道で出現した酸性硫酸塩土壌の位置（緯度・経度）および参考文献の紹介、寒地土木研究所月報、No.695、pp.39-47、2011.
- 2) 日本道路協会：「道路土工、切土工・斜面安定工指針」、pp.234-235、2009.
- 3) 金属鉱業事業団：「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」、pp.20-21、1983.
- 4) 戸政政仁、伊東佳彦、田本修一：「酸性硫酸塩土壌における自生植物の生育特性について」、寒地土木研究所月報、No.714、pp.45-49、2012.
- 5) 佐々木信夫：新第三系に由来する酸性硫酸塩土壌Ⅰ．その特性、ペドロジスト、Vol.22、No.1、pp.2-11、1978.