

法面緑化工の検討書

工事名：

工事場所：岩手県

発注者：岩手県 ○○町役場

(目次)

1.	概要	2
2.	法面調査	2
2.1.	法面の概要	2
2.2.	土壌硬度測定	3
2.3.	土壌分析	4
3.	法面緑化工の検討	7
3.1.	緑化目標の設定	7
3.2.	採用する緑化方法の検討	8
3.3.	自然侵入促進工の検討	10
3.3.1.	適用工法選定上の留意点	10
3.3.2.	造成する生育基盤量の設定	11
3.3.3.	導入工法の比較検討	13
4.	まとめ	15
5.	参考積算	16

1. 概要

本書は、「大島海岸復旧工事」における法面緑化工について、現地法面の地質や形状、立地条件、自然環境等に適した対策工の検討を行ったものである。

法面緑化工は、法面に植物を導入する、あるいは導入するための環境を整えることによって、短期的には降雨による浸食防止、地表面の温度変化の緩和ならびに凍上・凍結による表層崩落の抑制を図り、長期的には植生被覆による防災機能の向上、及び環境や景観、生態系の保全を目的としている。

本書では、これらの法面緑化工の目的を達成するため、現地調査を実施し、その結果をもとに現地に最適と思われる工法について提案する。

2. 法面調査

2.1. 法面の概要

現場は、大島海岸内の切土法面であり、対象土質は「軟岩（硬質土）」である。

施工地域は、「三陸復興国立公園」内に位置し、自然性豊かな植生が残された環境にあることから、周辺植生への配慮を目的とした法面緑化工の導入が計画されている。

現地にて法面調査を実施した。その結果を次に示す。



写真 2-1. 現場状況

2.2. 土壌硬度測定

植物の生育の適否を判定するため、山中式土壌硬度計にて土壌硬度測定を行った。測定は切土法面にて、1箇所につき3回を行い、その平均値を土壌硬度値とした。

測定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1. 土壌硬度測定結果

測定位置	測定値(mm)			
	第1回	第2回	第3回	平均値
対象法面	34	35	33	34.00

測定の結果、34.00 mmを示した。

土壌硬度は植物根系の伸長可否の目安であり、一般に粘性土で 23mm 以上、砂質土で 27mm 以上、平均的には 25mm 以上の場合、根系伸長が妨げられる。したがって、対象法面では、植物根系の伸長が困難な状態にあると考えられる。



写真 2-2. 土壌硬度測定箇所（サンプル土壌は土壌検査用）

2.3. 土壌分析

土壌硬度以外の植物生育適否の指標として、現地土壌の一部を採取し、土壌分析を行った。

分析結果を表 2-2 示す。

表 2-2. 土壌分析結果

分析項目	単位	現地採取土	適正值 [*]
pH(H ₂ O)		6.35	5.0～7.0
pH(KCL)		4.10	
電気伝導度(EC)	(ms/cm)	0.02	0.1以下
含水量	(%)	28.2	50～60
硝酸態窒素	(mg/100g)	微量	10.0程度
アンモニア態窒素	(mg/100g)	微量	1.25程度
リン	(mg/100g)	微量	2.5程度
カリ	(mg/100g)	微量	12.5程度

(注)微量とは、測定レンジ以下の数値。*印は、(社)農山漁村文化協会：「農業技術体・土壌施肥編 4 土壌診断・生育診断」、1995 から参考にした目安。

各分析項目のうち、植物の生育に影響を及ぼす主な項目について以下に示す。

1) 土壌酸度 (pH)

土壌中のH⁺には、土壌水分(溶液)中に溶けているものと、土壌のコロイド粒子(粘土や腐植など)の表面に電氣的に吸着されているものと2種類がある。pH(H₂O)は溶液中に溶けているH⁺の濃度をあらわし、pH(KCl)は溶液中に溶けているH⁺と土壌コロイド粒子に吸着されているH⁺の合計濃度をあらわしている。それぞれの値には次の意味がある。

- pH(H₂O)
植物(根)の生育に直接かかわる土壌酸性の強弱を示す。
- pH(KCl)
土壌養分として大切なアンモニア態窒素やカリウム、カルシウム、マグネシウムなどの豊否(陽イオンを有するもの)や、中和石灰必要量を知るための指標であり、この数値が低いほどこれらの養分が少ない土壌と判断できる。

現場の土壌は、pH(H₂O)=6.35、pH(KCl)=4.01を示した。緑化における適正pH値は5～7であり、KClの値が低い傾向にあるが、養分の欠乏によるものであるため、植物の生育には問題ない範囲と判断する。

2) 電気伝導度 (EC)

電気伝導度は、水溶液中や土壌溶液中の塩類濃度を測定するものであり、単位は、 1cm^2 の極板2枚の間の電気抵抗値の逆数を比伝導度とよび、この値をmS(ミリジーメンズ)/cmと表す。

一般にEC値が高くなると植物の根からの水吸収が阻害され、植物体内の塩含有率が高くなって生育不良になり、限界濃度を超えると枯死に至る。

現場の土壌は、0.02 (mS/cm) と低い値を示すため、問題の無い土壌と考えられる。

3) 容水量

容水量の高い土壌は、水分の保持能力が高い土壌であり、容水量が低い土壌は、水分保持能力が乏しい土壌と判断する。粘性土の場合、高い容水量値を示すが、固結した粘性土は法面のような傾斜地では水分が表面を流れるだけで、地中に浸透することができない。したがって容水量が50%以下の土壌や締め固まった粘性土の場合は、気象条件が乾燥期になると植物はすぐに枯れやすい状況となる。

現場の土壌は、28.2%であるため、地質的には乾燥害を受けやすい土壌と判断される。

4) 硝酸態窒素

硝酸態窒素は植物に吸収され、アミノ酸やタンパク質などに合成され、植物体の構成成分となる。硝酸態窒素の診断基準を表2-3に示す。

現場の土壌は、欠乏状態であるが、施肥によって養分供給を行えば、植物の生育に対して問題はない。

表 2-3. 水溶性硝酸態窒素の診断基準

分析値	診断
0.5 (mg/100g)	少ない
1.25 (mg/100g)	少ない
2.5 (mg/100g)	やや少ない
10.0 (mg/100g)	適当
25.0 (mg/100g)	多い

5) アンモニア態窒素

植物の生育に必要な肥料成分である窒素成分の中のアンモニア態窒素は、還元土壌に生育する植物(イネ・レンコンなど)に吸収利用され、一般には硝酸態窒素となって植物が吸収利用する。また土壌中に過剰に含まれると生育阻害となる場合もある。表2-4より土壌100g当たり25mg以上になると過剰と考えられる。

現場の土壌は、欠乏状態にあるが、施肥によって養分供給を行えば、植物の生育に対して問題はない。

表 2-4. 水溶性アンモニア態窒素の診断基準

分析値	診断
0.5 (mg/100g)	少ない
1.25 (mg/100g)	適当
2.5 (mg/100g)	やや多い
5.0 (mg/100g)	多い
25.0 (mg/100g)	過剰

6) リン酸

リン酸は作物の根の発育，茎の枝分かれや葉数の増加をさかんにし，開花・結実を促進する。

現場の土壌は，欠乏状態であるが，施肥によって養分供給を行えば，植物の生育に対して問題はない。

表 2-5. 水溶性リン酸の診断基準

分析値	診断
0.5 (mg/100g)	少ない
1.25 (mg/100g)	やや少ない
2.5 (mg/100g)	適当
10.0 (mg/100g)	やや多い
25.0 (mg/100g)	多い

7) カリ

カリウムは作物体の有機物質を構成する元素でないが，作物体内で水溶性 K^+ として移動しやすく，細胞・組織内の代謝の活性化，pHの安定，浸透圧の調整など，大切な生理的役割を果たしている。

現場の土壌は，欠乏状態であるが，施肥によって養分供給を行えば，植物の生育に対して問題はない。

表 2-6. 水溶性カリの診断基準

分析値	診断
5.0 (mg/100g)	少ない
12.5 (mg/100g)	適当
25.0 (mg/100g)	多い
50.0 (mg/100g)	多すぎる
100.0 (mg/100g)	過剰

3. 法面緑化工の検討

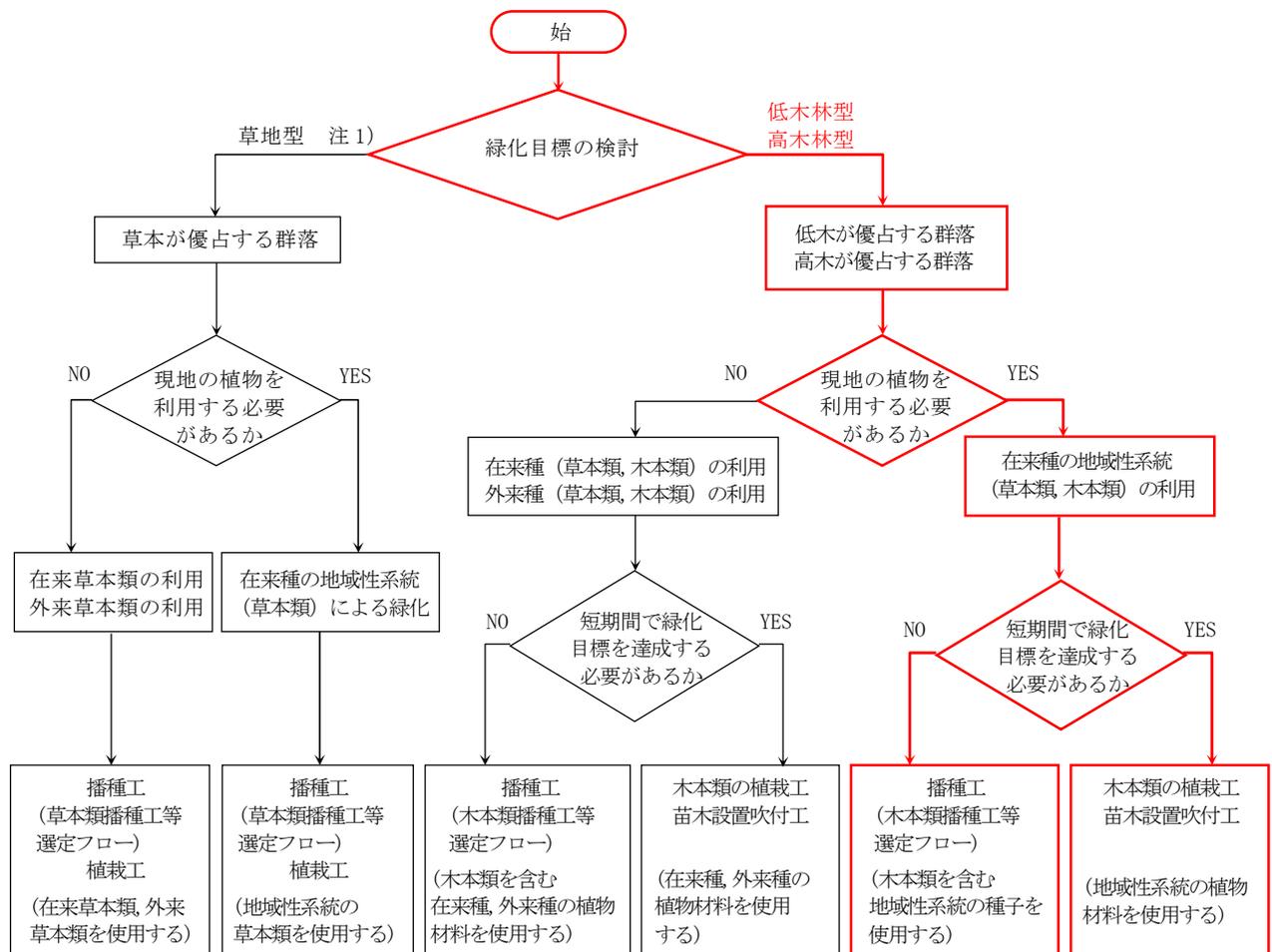
3.1. 緑化目標の設定

緑化目標とは、これから緑化しようとする法面・斜面を将来的にどのような植物群落にするのか、どのような景観にするのかという目標のことである。緑化目標は、植生工の第1の目的である浸食や凍上・凍結害の防止、ならびに植物群落形成後の根系による防災機能の向上を図るのはもちろんのこと、周辺環境との調和や生態系の保全、維持管理の軽減等、法面に求められる緑化の目的を十分に検討して設定する必要がある。

緑化目標には、図 3-1 に示すように草地型、低木林型、高木林型の3タイプがある。

対象法面は、「三陸復興国立公園」内に位置し、周囲の自然環境への配慮が必要な環境にあることから、使用する植物や造成する植物群落の質にも留意する必要がある。

以上のことから、対象法面においては「低木林型（木本類を含む地域性系統の種子を使用する）」を設定するのが望ましいと考える。



注1)：初期の目標を草本群落とし、長期間かけて自然の遷移によって木本群落を形成する場合を含む。

図 3-1. 植生工選定フロー(緑化目標及び植物材料からの選定)ⁱ

3.2. 採用する緑化方法の検討

対象法面では、「低木林型（木本類を含む地域性系統の植物材料を使用する）」の緑化目標を設定したので、ここではその目標を達成可能な緑化方法について検討を行う。

このような緑化を行うためにはいくつかの方法が考えられるが、その主なものをあげると以下ようになる（下記には「森林表土利用工」や「自然侵入促進工」といった新たな緑化方法も記載した）。

① 地域性種苗の利用

地域性の植物材料（種子や苗木）を採取し、それを使用する方法である。採取地域は、施工場所の環境に応じて国内、国土区分内、都道府県内、その他（山系、水系等）の中から選定することが多い。採取地域を狭く設定するほど環境の保全性は高くなるが、その反面採取に手間がかかるため、種子や苗木代が高価になるという問題がある。

採取した種子や苗木は、「植生基材吹付工」や「植生マット」等に混合する、あるいはこれらと併用して施工する例が多い。

② 森林表土利用工

森林表土に含まれる埋土種子を利用する方法である。

施工対象地周辺の表土を採取し、「植生基材吹付工」や「植生土のう」等に混合して施工する例が多い。

③ 自然侵入促進工

無播種で施工し、周辺自生植物の自然侵入で緑化を行う方法である。飛来種子を主体とした緑化のため、周辺に森林等の種子供給源があり、そこに自生する植物の侵入・定着を期待できる場所での採用が原則となる。

緑化被覆に時間がかかることから、裸地状態が継続した場合にも、法面保護機能を維持できる工法の採用が前提となる。このため、吹付工法の中では最も耐浸食性に優れる「植生基材吹付工（無播種施工）」や、耐浸食性と種子の捕捉機能に工夫を行った「植生マット」等を使用する例が多い。

表 3-1 に、以上の内容をまとめた比較表を示す。

比較表からもわかるように、それぞれの緑化方法には利点と欠点がある。

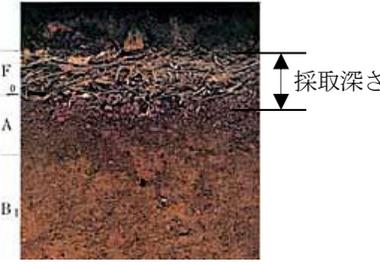
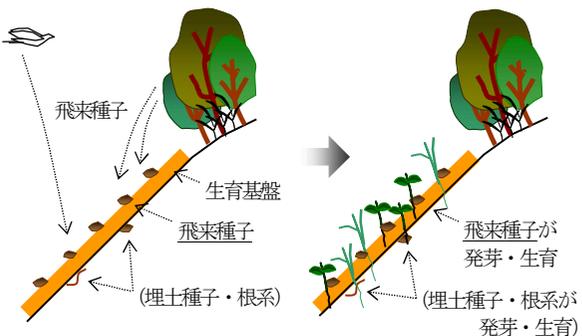
③は自然任せのある意味消極的な緑化方法であるが、緑化の計画が容易で経済性に優れる長所を持っている。一方①や②は、③に比べて積極的な緑化方法と考えられるが、前者については種子や苗木の採取・貯蔵・育苗技術が確立していない、後者については表土に含まれる種子の種類や量にバラツキがある等の理由により、必ずしも良好な成果が得られるわけではない。また、あらかじめ植物材料や表土を確保する必要があり、採取場所や採取量を決定するための綿密な事業計画が必要になることが多い。さらに、どちらも従来工法に比べて高価になることから、コスト縮減の時代に合致しない欠点を有している。

以上に示した得失について検討した結果、ここでは比較表に示した緑化方法の中から、「自然侵入促進工」を提案したいと考える。

<提案する緑化方法>

自然侵入促進工

表 3-1. 自然環境に配慮した緑化方法の比較表

名称	地域性種苗の利用	森林表土利用工	自然侵入促進工
概要	<ul style="list-style-type: none"> 国内、あるいは設定した地域内で採取した「自生種（種子または苗木）」で緑化を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 森林表土に含まれる埋土種子や根系で緑化を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工時に植物材料を使用せず、周辺に自生する植物の自然侵入で緑化を行う。
植物導入の方法	<p><播種工> 自生種（種子）</p> <p><植栽工> 自生種（苗木）</p>  <p>採取した種子</p>  <p>育苗中の苗木</p>	<p><植生誘導工（森林表土利用工）> 森林表土に含まれる埋土種子・根系</p>  <p>地表から5~10cm程度の表土を採取する。</p> <p>森林表土利用工の概念図</p>	<p><植生誘導工（自然侵入促進工）> 飛来種子（風・水散布，動物散布，重力散布，自動散布）</p>  <p>自然侵入促進工の概念図</p>
留意点	<p>注) あらかじめ、種子や苗木を確保しておく必要がある。</p>	<p>注) 森林表土（良質な埋土種子や根系が含まれるもの）の採取場所の確保が必要である。</p>	<p>注) 周辺に森林等の種子供給減があり、そこに自生する植物の侵入を期待できる場所での採用が原則である。</p>
必要な工法条件	<ul style="list-style-type: none"> 自生種（種子または苗木）の発芽・生育特性に応じた生育基盤（耐浸食性，厚み等）を造成できること。 <p><適用工法の例> 植生基材吹付工，植生マット工（生育基盤封入） 苗木設置吹付工，ユニット苗設置工</p>	<ul style="list-style-type: none"> 埋土種子や根系による緑化が行われるまでの期間，法面の浸食を防止できること。 <p><適用工法の例> 植生基材吹付工，客土注入マット工 植生土のう工，編柵工（森林表土敷均し）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 周辺植物が侵入するまでの期間，法面の浸食を防止できること（法面保護機能）。 周辺から飛来する種子を捕捉し，生育させる能力を有すること（周辺植物の侵入・定着機能）。 <p>注) 自然侵入促進工を行うためには「法面保護機能」と「周辺植物の侵入・定着機能」の両立が必須である。</p> <p><適用工法の例> 植生基材吹付工，植生マット工（生育基盤封入） 編柵工</p>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 種子や苗木を確保するための綿密な事業計画が必要である（採取時期，採取場所，貯蔵・育苗方法，採取数量等の検討）。 種子や苗木の採取・貯蔵・育苗方法が確立しておらず，導入可能な植物が制限されることが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 森林表土の採取場所によっては，帰化植物や畑雑草が繁茂する，あるいは植物の生育がほとんど見られない等の問題が生じることがある。 緑化に時間がかかり裸地状態が継続した場合には，法面が浸食を受けることがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 待ち受け型の緑化方法のため，周辺植物の侵入に時間がかかることがある。また，帰化植物や畑雑草が繁茂することがある。 緑化に時間がかかり裸地状態が継続した場合には，法面が浸食を受けることがある。
経済性	高価 (種子や苗木代が高価となることが多い)	中程度	安価

3.3. 自然侵入促進工の検討

自然環境に配慮した緑化を行うための方法として、自然侵入促進工を提案したので、ここでは具体的な適用工法について検討する。

3.3.1. 適用工法選定上の留意点

自然侵入促進工は、周辺自生植物の自然侵入に期待する緑化方法である。無播種で施工するため、裸地状態が継続しやすく、法面保護上の問題が発生するリスクが高い。また、自然環境や生態系保全の観点からは、可能な限り速やかに周辺植物の侵入を促すことが必要である。

自然侵入促進工を行う工法が具備すべき条件としては、以下のものがあげられる。

- 周辺植物が侵入・定着するまでの期間、法面の浸食を防止できる。
(法面保護機能)
- 周辺から飛来する種子を効率的に捕捉し、生育させることができる。
(周辺植物の侵入・定着機能)

自然侵入促進工を適切に実施するためには、上記の両立が必要である。どちらか一方が不足しても、①法面が浸食を受けて不安定化する、②長期間経過後も植物の侵入がほとんど見られない等の問題が生じやすくなるので、注意が必要である。

したがって、適用工法の選定にあたっては、「法面保護機能」と「周辺植物の侵入・定着機能」に重点をおいた工法選定を行うことが大切である。

3.3.2. 造成する生育基盤量の設定

自然侵入促進工は、植物が生育可能な基盤条件を整えることにより、周辺植物を侵入させる緑化方法である。そのため、侵入植物を良好に生育させるためには、無播種施工であっても、一般の播種工と同等、あるいはそれ以上の生育基盤を造成する必要がある。

以上の理由により、造成する生育基盤量は、一般的に使用されている道路土工指針に示された「植生工選定フロー（木本類播種工等）」を参考に設定する。

対象法面にて実施した法面調査の結果を以下に示す。

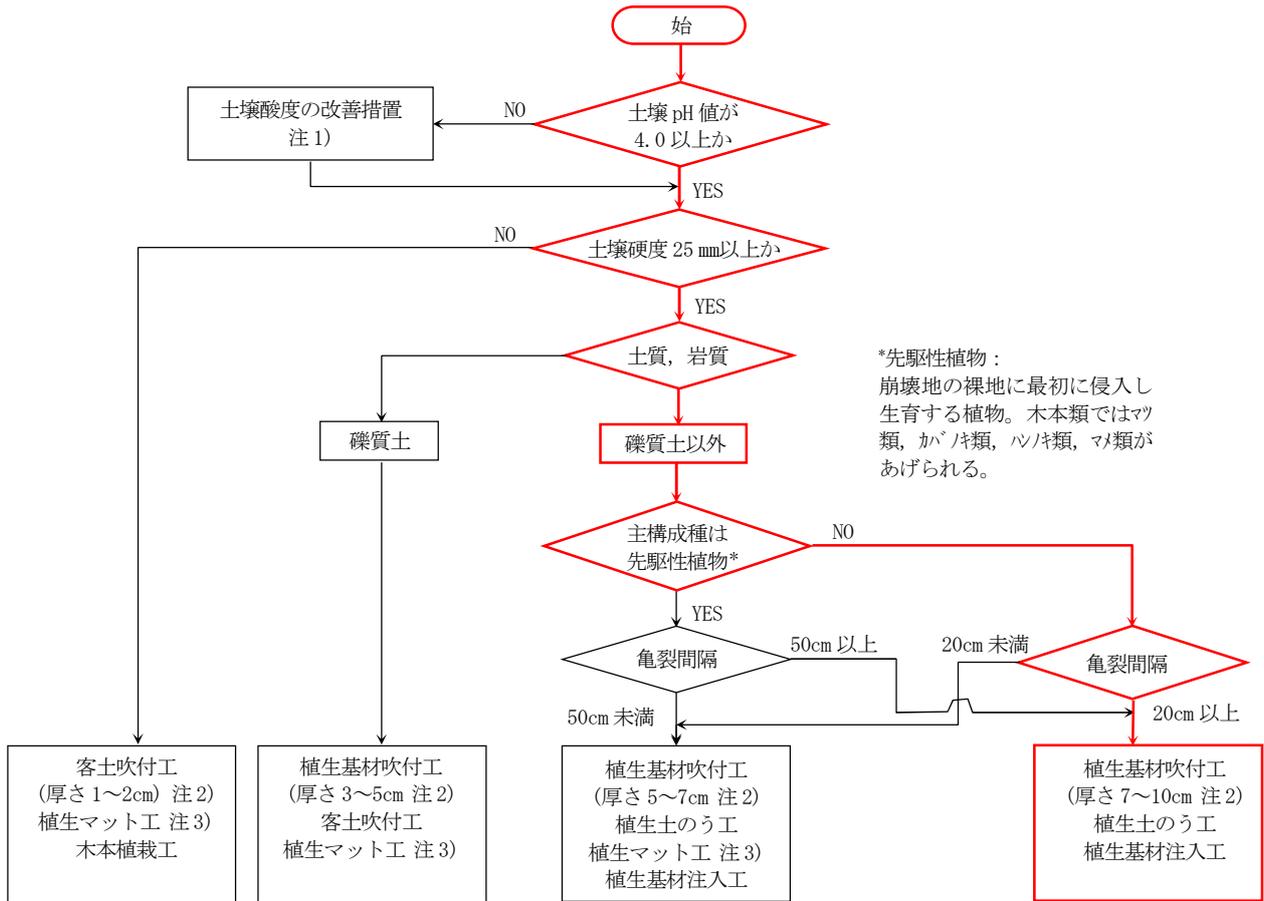
表 3-2. 法面調査結果

土質	土壌硬度	土壌 pH
軟岩（硬質）	34.00 mm	6.35

これを図 3-2 に示した植生工選定フローとあわせた場合、以下の工法が該当工法（造成基盤量の目安）となる。

表 3-3. 対象法面に必要な基盤整備（目安）

土質	基盤整備の目安
軟岩（硬質） 土壌硬度 34.00 mm	植生基材吹付工 (t=7 cm)



注 1)：土壤酸度の改善措置が不可能な場合はブロック張工等の構造物工のみの適用を検討する。

注 2)：吹付厚さは緑化目標も考慮して決定する。

注 3)：植生マットを適用する場合には、法面条件に対応した厚さの植生基材が封入されたもので、その機能が同条件での植生基材吹付工の吹付厚さに対応した製品を使用する。

図 3-2. 法面条件を基にした植生工の選定フロー（木本類播種工等）ⁱⁱ

3.3.3. 導入工法の比較検討

以上の検討内容に基づき、対象法面で適用可能な工法について比較・検討し、自然侵入促進工の最適工法について提案する。

比較検討に当たっては、以下の点について考慮する必要がある。

- ◆ 自然侵入促進工を行うのに必要な「法面保護機能」と「周辺植物の侵入・定着機能」を両立できる。
- ◆ 地質に適した生育基盤の造成が必要であり、第 3.3.2 項により、「植生基材吹付工 (t=7 cm)」程度の基盤整備が必要である。

以上の条件を満たす工法を選定する上での参考として、表 3-5 に自然侵入促進工の比較表を示す。その結果、以下の「半開構造 自然侵入促進型植生マット張工 (案②)」が対象法面に適した工法と考える。

表 3-4. 対象法面に適した工法

土質	提案工法
軟岩（硬質） 土壌硬度 34.00 mm	半開構造 自然侵入促進型植生マット L-1 型

【半開構造 自然侵入促進型植生マットの特徴】

- 特殊なマット構造により、法面保護機能を維持しながら自然侵入促進工を行える
(植生基材吹付工に比べて生育基盤と地山を保護する効果が高い)。
- 飛来種子の定着率が高く、地山に残存する植物も生育可能なため、緑化被覆に要する時間を短縮できる。
- 建設技術審査証明技術である。(建技審証第 1008 号)

表 3-5. 自然侵入促進工の比較表

名称	案① 植生基材吹付工	案② 平場構造・自然侵入促進型植生マットL-1型（半開構造）
認証・登録	一般工法	建設技術審査証明 建技審証第1008号 NETIS CB-050059-VE（設計比較対象技術）※NETIS掲載期間終了
写真		
概要	<ul style="list-style-type: none"> ラス金網を設置後、モルタル吹付機で厚みのある生育基盤（主材料はパーク堆肥）を造成する工法である。 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊構造のネット（半開型2重織ネット）に植生袋を装着したマットであり、法面に敷設・固定する。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 2工程（ラス張工+吹付工） 吹付機械が必要なため、現場条件によっては施工性が劣ることがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 1工程（マット張工） 吹付機械が不要なため、高所、狭所、小面積等での施工に有利である。
評価	○	◎
周辺植物の侵入・定着機能 （種子捕捉部の形状等により考察）	 <p style="text-align: center;">平滑な吹付面</p> <ul style="list-style-type: none"> 平滑な吹付面のため、種子の捕捉能力は低い 種子の捕捉能力を高めるためには、表面に立体ネット等を併用する必要がある。 	 <p style="text-align: center;">ネット粗部の編目は、1.5cm程度</p> <ul style="list-style-type: none"> 特殊なネット構造（粗密ネット）により形成された平場部が、簡易な編柵工としての役割をするので、飛来種子を効率良く捕捉する（落下し易い種子の捕捉も可能）。
評価	△	◎
法面保護機能	<ul style="list-style-type: none"> 吹付工法の中では、最も耐久性に優れる生育基盤を造成できる。 ただし、基盤が露出しているため、緑化被覆に時間がかかった場合には、生育基盤が流亡し法面保護機能に問題を生じることがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 粗密ネットと浸食防止シートが雨滴衝撃を緩和し、レベル状に設置された植生袋が雨水の流下速度を軽減するので、法面保護機能を期待できる。 過去の施工実績や公的な認証・登録により、最低でも3年以上は法面保護機能が継続することが証明されている。
評価	△	◎
経済性	植生基材吹付工 (t=7cm) 6,120 円/m ² ※	半開構造 自然侵入促進型植生マットL-1型張工 5,012 円/m ²
総合評価	△	◎

注) 植生基材吹付工の単価は、岩手県市場単価（土木コスト情報、2017年10月、1000㎡以上）

4. まとめ

以上の検討結果を取りまとめ、表 4-1 に示す。

表 4-1. 提案工法のまとめ

緑化目標	対象箇所	提案工法
低木林型 (木本類を含む地域性系統の種子を使用する) ↓ 自然侵入促進工	軟岩 (硬質) 土壌硬度 34 mm	自然侵入促進型植生マット (L-1 型) 張工

(提案理由)

対象法面は、「三陸復興国立公園」内に位置するため、周辺自然環境への配慮を重視した工法の採用が望まれる環境にあり、この緑化の目的を達成可能と思われる工法について、表 3-1、表 3-5 にて比較検討を行った結果、下記の長所を有する「自然侵入促進型植生マット張工」を提案する。

- 特殊なマット構造により、法面保護機能を維持しながら自然侵入促進工を行える (植生基材吹付工に比べて生育基盤と地山を保護する効果が高い)。
- 平場構造により飛来種子の定着率が高く (大粒種子の定着も可能)、地山に残存する植物も生育可能なため、緑化被覆に要する時間を短縮できる。
- 生育基盤がマット内に保護されているため、凍上害による生育基盤の滑落防止が図れる。(植生基材吹付工の場合、生育基盤が露出しているため、これらによって生育基盤が滑落しやすく、基盤が滑落した場合には地山の侵食が発生するケースがみられる)

5. 参考積算

提案工法の直接工事費の内訳を以下に示す。

名称	規格	単位	数量	単価	金額	摘要
自然侵入促進型植生マットL-1型張工 (材料費)					(100㎡当たり)	
イースターマットL-1型	1×3m	m2	110.0	3,240	356,400	建設物価掲載価格
アンカーピン	φ9×200mm	本	309.0	30	9,270	
止め釘	大頭釘, L=150mm	本	290.0	11	3,190	
小計					368,860	
(労務費)						
土木一般世話役	H29年度岩手県	人	0.5	24,400	12,200	
法面工	H29年度岩手県	人	3.3	25,700	84,810	
普通作業員	H29年度岩手県	人	2.0	17,700	35,400	
小計					132,410	
合計					501,270	5,012円/㎡

- マット単価は、建設物価掲載価格です。
- 労務単価は、岩手県の平成29年度公共工事設計労務単価です。
- 法面の状況に応じて、固定具の仕様を変更する場合があります。

参考文献

ⁱ (社)日本道路協会：「道路土工一切土工・斜面工指針」, P226～227, H21年6月

ⁱⁱ (社)日本道路協会：「道路土工一切土工・斜面工指針」, P230, H21年6月