

法面緑化工の検討書

工事名：

工事場所：

発注者：宮崎県 ○○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	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.	植生工の選定	9
3.3.	適応工法の比較	11
4.	まとめ	13
5.	参考積算	14

1. 概要

本書は緑化工について、検討を行ったものである。

法面緑化工は、法面に植物を繁茂させることによって法面の表層部を根で緊縛し、雨水による浸食防止、地表面の温度変化の緩和ならびに凍上による表層崩落の抑制を図り、緑化による景観の向上および環境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場に適した工法について提案する。

2. 法面調査

2.1. 法面の概要

対象法面は、既設の切土法面(北向き)であり、過去に法面緑化工「植生マット工(肥料袋付)」の施工を行ったが、植物の定着が乏しく、土砂の流失や樹脂ネットの破損等が発生している。本計画では、既存の植生マット工(肥料袋付)を撤去し、法面整形(計画勾配1:0.8)を行った後に、法面緑化工を導入する計画である。対象箇所にて現地調査を実施し、現地に適した法面緑化工の検討を行った。

現地調査の結果、出現土質は、「礫混じり土砂」が主体と考えられ、締め固まりが弱い状態にあるため、表流水等の侵食作用により土砂や礫が流失しやすく、法尻部に礫の堆積が認められる。

現地にて、法面調査(土壌硬度測定、土壌検査)を実施した。その結果を次に示す。



写真 2-1. 現地状況

2.2. 土壌硬度

対象法面における植物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4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	第4回	平均値
地山露出箇所	11	15	15	14	13.75

土壌硬度の測定値は、13.75 mmであった。

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。(表 2-2)

調査の結果、植物根系の伸長が容易な状態にあると考えられる。

表 2-2. 土壌硬度からみた植物の生育状態予測¹

土壌硬度	植物の生育状態
10 mm未満	乾燥のため発芽不良になる。
粘性土 10～23 mm 砂質土 10～27 mm	根系の伸長は良好となる(草本類では肥沃な土である場合) 樹木の植栽に適する。
粘性土 23～30 mm 砂質土 27～30 mm	木本類の一部のものを除いて、根系の伸長が妨げらる。
30 mm以上	根系の伸長はほとんど不可能である。
軟岩・硬岩	岩に亀裂がある場合には、木本類の根系の伸長は可能である。



写真 2-2. 土壌硬度測定状況

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。土壌採取は、現地の2箇所にて実施し、それぞれを土壌A、土壌Bとした。

分析結果を表 2-3 に示し、各項目の詳細については以下に示す。分析の結果、肥料成分が欠乏しているが、土壌 pH(H₂O)に問題は認められないことから、植物の生育に対し問題ない土壌であると判断する。

表 2-3. 土壌分析結果

分析項目	単位	土壌A	土壌B	適正值 [※]
pH(H ₂ O)		5.24	5.18	5.0~7.0
pH(KCl)		4.05	4.01	
電気伝導度(EC)	(ms/cm)	0.10	0.08	0.1以下
容水量	(%)	37.4	36.6	50~60
硝酸態窒素	(mg/100g)	5.0	微量	10.0程度
アンモニア態窒素	(mg/100g)	0.65	0.35	1.25程度
リン	(mg/100g)	微量	微量	2.5程度
カリ	(mg/100g)	4.75	1.60	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。

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)=5.18~5.24、pH(KCl)=4.01~4.05を示しており、緑化における適正pH値は5~7であるため、KClの値はやや低い値であるが、肥料分の不足によるものであるため、緑化工の導入に当たっては問題ない土壌と判断する。

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、 $0.08\sim 0.10$ (mS/cm) 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、 $36.6\sim 37.4\%$ と低い値を示すため、地質的には乾燥害を受けやすい土壌と考えられる。

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 2-4 に示す。

現場の土壌は、少ない傾向にあるが、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、還元土壤に生育する植物（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。また土壤中に過剰に含まれると生育阻害となる場合もある。表 2-5 より土壤 100g 当たり 25mg 以上になると過剰と考えられる。

現場の土壤は、少ない状態にあるが、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 2-5. 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。

現場の土壤は、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。

現場の土壤は、少ない状態であるが、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 2-7. 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の目的である浸食防止と植物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、特殊型の4タイプがある。緑化目標を設定する上での参考として、「草本類と木本類の根系比較」を図 3-2 に、「法面勾配と植物の生育状態」を表 3-1 に示す。植物の根系は草本類と木本類で大きな違いがあり、一般的に木本類を導入したほうが、その杭根やネット状効果によって法面の防災機能が高まることが知られている。また、周辺環境との調和に対しても、山間地等の森林環境に出現する法面においては、平面的で単調な植生となる草本群落よりも、立体的で複層的な植生となる木本群落のほうが、景観や生態系の保全性において優れている。

したがって、対象法面においては「低木林型」の緑化目標を設定するのが望ましいと考える。

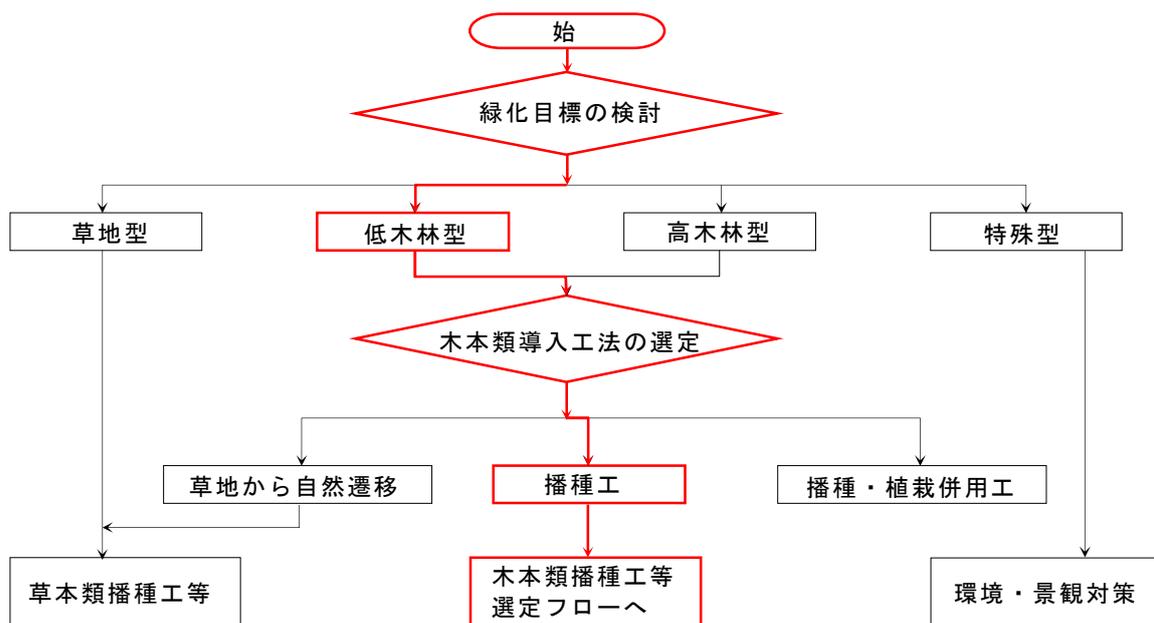
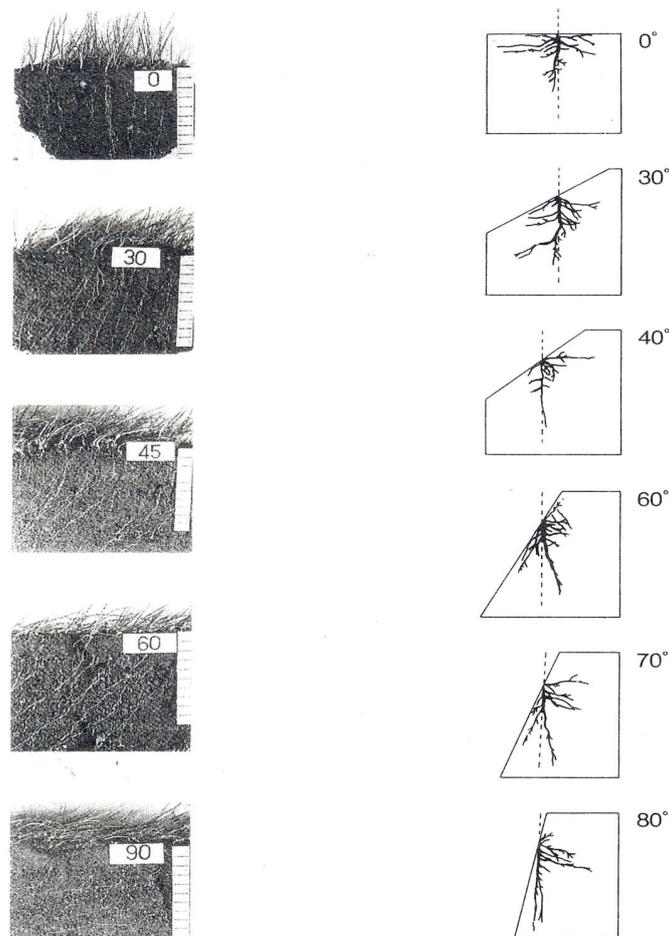


図 3-1. 植生工選定フロー(緑化目標および導入形態)ⁱⁱ



【図の説明文】
 左；草本植物の根系は鉛直方向より谷側に片寄り，軟らかい上層でも根系は伸長しない。
 右；木本植物は，二次根が斜面の奥方向に向かって伸長し，表土を固定する。

図 3-2. 草本類（左）と木本類（右）の根系ⁱⁱⁱ

表 3-1. 勾配と植物の生育状態^{iv}

勾配	植物の生育状態
1 : 1.7 より緩 (30 度以下)	高木が優占する植生の復元が可能。 周辺から在来種の侵入が容易。 植物の生育が良好で，植生被覆が完成すれば表面浸食はほとんどなくなる。
1 : 1.7 ~ 1 : 1.4 (30 ~ 35 度)	放置した場合に周辺から自然侵入によって植物群落形成されるためには 35 度以下の勾配であることが必要。
1 : 1.4 ~ 1 : 1 (35 ~ 45 度)	中・低木が優占し，草本類が地表を覆う植物群落の造成が可能。
1 : 1 ~ 1 : 0.8 (45 ~ 50 度)	低木や草本類からなる樹高や草丈の低い植物群落の造成が可能。 高木を導入すると，将来基盤が不安定になる恐れがある。
1 : 0.8 より急 (50 度以上)	植生工以外ののり面保護工が原則である。

3.2. 植生工の選定

ここでは、道路土工指針における「のり面条件を基にした植生工の選定フロー(木本類播種工等)」(図 3-3)を参考にし、対象法面に必要な基盤整備手法を検討する。

現場状況の結果を以下にまとめる。

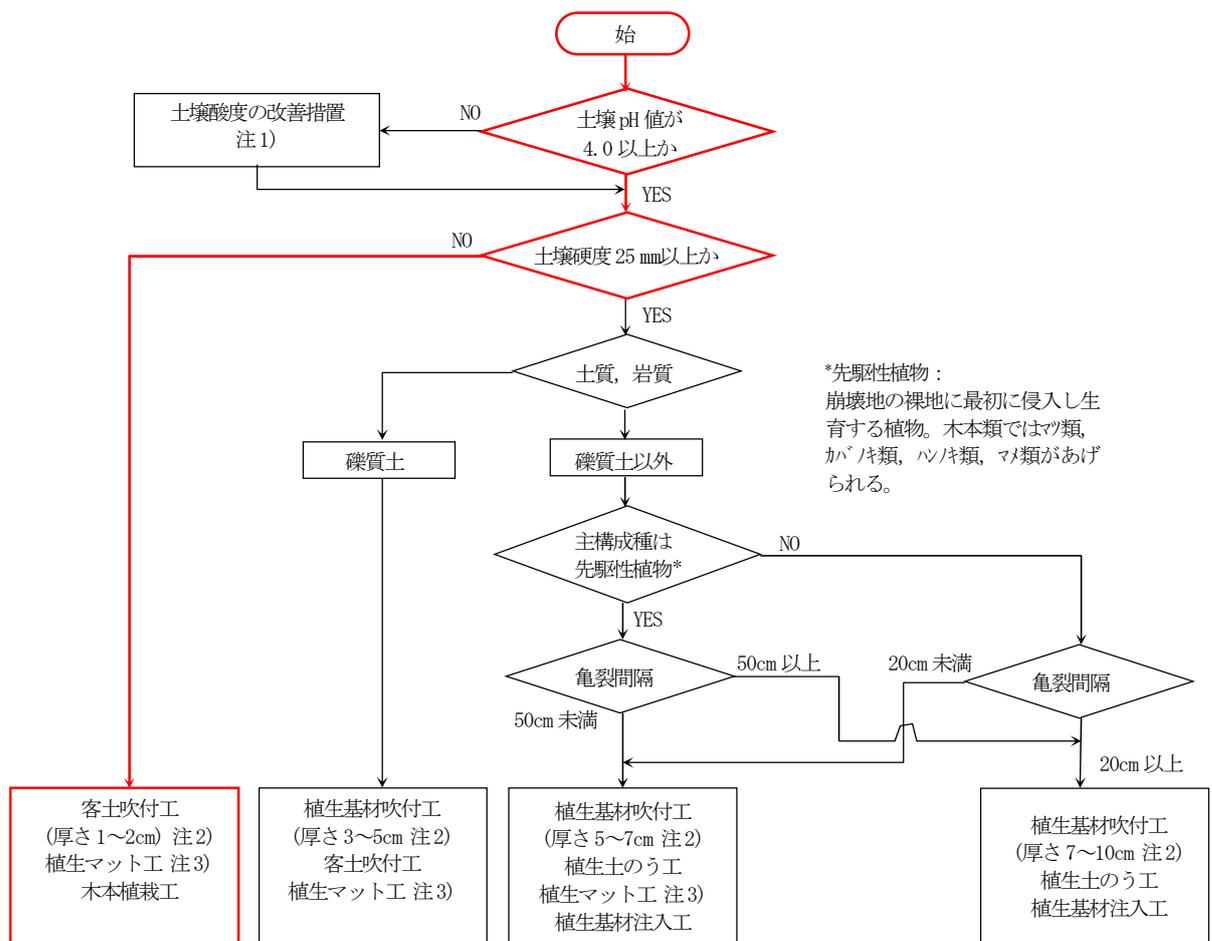
表 3-2. 法面条件

土質	土壌硬度	計画勾配
礫混じり土砂	13.75 mm	1:0.8

道路土工指針「のり面条件を基にした植生工の選定フロー(木本類播種工等)」(図 3-3)に当てはめると、以下の工法が選定される。

表 3-3. 選定フローによる工法

法面条件	必要な基盤整備 (目安となる工法)
礫混じり土砂 土壌硬度 13.75 mm 勾配 1:0.8	<ul style="list-style-type: none">• 客土吹付工 (t=1~2 cm)• 植生マット工



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、のり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 3-3. のり面条件を基にした植生工の選定フロー(木本類播種工等)^v

3.3. 適応工法の比較

道路土工指針における「のり面条件を基にした植生工の選定フロー(草本類播種工等)」で選定された工法(客土吹付工, 植生マット工)を参考に, ここでは対象法面で適応可能と思われる工法の比較・検討を行い, 最適な工法の絞込みを行う。工法の比較検討に当たっては, 以下の点を考慮する必要があると考えられる。

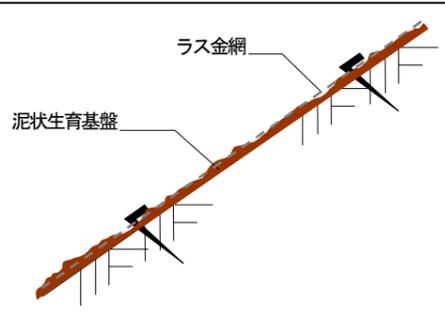
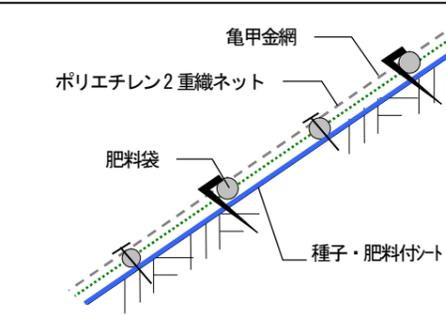
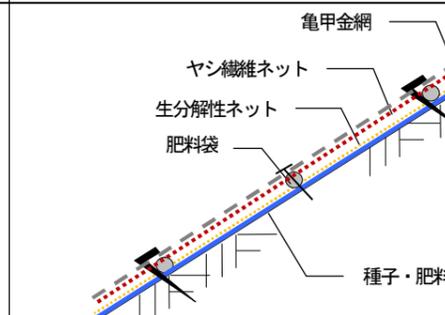
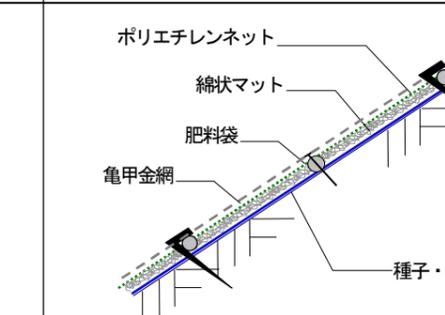
- 現状の地山は締め固まりが弱く, 表流水によって侵食作用を受けやすい状態にあるため, 耐侵食性に優れた工法の選定が必要である。
- 法尻部に礫の堆積が認められること, 既存の植生マット工では樹脂ネットの破損が発生していることから, 剛性のある金網(緑化基礎工)の併用が望ましいと考えられる。
- 北向き法面で, 肥料成分が欠乏した土壌であることから, 植物の定着を促進させるための対策が必要と考えられる。客土吹付工の場合には, フロー図で選定された厚み「1~2 cm」のうち安全側の「厚 2 cm」を採用し, 植生マット工の場合には, 肥料袋(土壌改良材・保水材・肥料を充填)や土壌改良材を装着する等により, 植物の生長を促進させる必要があると考える。

以上の点を考慮し, 以下の工法について, 表 3-5 にて比較検討を行った。

表 3-4. 比較工法

法面条件	比較工法
礫混じり土砂 土壌硬度 13.75 mm 勾配 1:0.8	<ul style="list-style-type: none">• 客土吹付工 (t=2 cm) + ラス金網張工• 植生マット工 (亀甲金網付) ※ 3 種類

表 3-5. 導入可能な工法の比較検討

一般名称	案① ラス金網張工+客土吹付工(厚2cm)	案② 植生マット肥料袋付(亀甲金網付・P40)	案③ ヤシ繊維ネット 肥料袋付植生マット(亀甲金網付)	案④ 侵食防止強化マット(肥料袋付・亀甲金網付)P50	
概略図					
構造	<ul style="list-style-type: none"> ラス金網 客土(厚2cm) 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網・樹脂ネット 肥料袋付(装着間隔40cm) 種子・肥料付シート 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網・ヤシ繊維ネット・生分解ネット 肥料袋(装着間隔50cm) 種子・肥料付シート 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網・樹脂ネット 綿状マット 肥料袋(装着間隔50cm) 種子・肥料付シート 	
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ラス金網をアンカーピンで固定したのち、泥状の生育基盤材をハイドロシーダーで吹付ける。 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網と一体化させた植生マットを法面に展開し、アンカーピン・止め釘で固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網と一体化させた植生マットを法面に展開し、アンカーピン・止め釘で固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 亀甲金網と一体化させた植生マットを法面に展開し、アンカーピン・止め釘で固定する。 	
施工性	工程管理	<ul style="list-style-type: none"> 2工程(ラス張り作業+吹付工) 全法面整形後の一斉施工となる場合が多い。 施工場所が離れている場合には現場内での機械移動が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 1工程(マット張工)。 法面造成の工程にあわせた施工が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 1工程(マット張工)。 法面造成の工程にあわせた施工が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 1工程(マット張工)。 法面造成の工程にあわせた施工が可能。
	資機材の搬入	<ul style="list-style-type: none"> 施工時には多量の水を必要とする。 吹付機械、及び資材設置のためスペースの確保が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工数量・時期に応じた材料搬入が可能のため、小規模なスペースでの施工が可能。 種子を装着した製品のため、資材の保管に注意が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工数量・時期に応じた材料搬入が可能のため、小規模なスペースでの施工が可能。 種子を装着した製品のため、資材の保管に注意が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工数量・時期に応じた材料搬入が可能のため、小規模なスペースでの施工が可能。 種子を装着した製品のため、資材の保管に注意が必要である。
植物の生育	<ul style="list-style-type: none"> 湿潤状態の生育基盤材のため施工直後から種子の発芽が可能(但し、発芽気温に達した場合)。 客土材中の肥料によって、導入植物の定着を期待できる。 泥状の生育基盤により種子が保護されているので、種子の流出防止を図り安定活着が可能である。ただし、施工直後に多量の降雨があった場合には生育基盤が流亡し、植生不良となる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工後の雨水等により発芽を開始する。(ただし、発芽気温に達した場合) 肥料袋により肥効の長期化や保水性の向上が図れるので、導入植物の定着を期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工後の雨水等により発芽を開始する。(ただし、発芽気温に達した場合) 肥料袋により肥効の長期化や保水性の向上が図れるので、導入植物の定着を期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工後の雨水等により発芽を開始する。(ただし、発芽気温に達した場合) 肥料袋により肥効の長期化や保水性の向上が図れるので、導入植物の定着を期待できる。 	
法面保護機能	<ul style="list-style-type: none"> 泥状の客土材は侵食に対して弱いため、表流水によって客土材が流失しやすく、客土材が流失した場合には地山土砂の流失が懸念される。 ラス金網の剛性により、礫等の移動防止に効果的である。 	<ul style="list-style-type: none"> 等高線上に装着された肥料袋とネットによって、表流水の流速を減速させ、表流水による侵食作用を緩和することが出来る。 亀甲金網の剛性により、礫等の移動防止に効果的である。 	<ul style="list-style-type: none"> 等高線上に装着された肥料袋とネットによって、表流水の流速を減速させ、表流水による侵食作用を緩和することが出来る。(ただし、ヤシネットや生分解ネットの分解後はその機能は低減する) 亀甲金網の剛性により、礫等の移動防止に効果的である。 	<ul style="list-style-type: none"> 綿状マットによって、雨滴衝撃の緩和、土粒子の移動防止、表面排水等を行うため、侵食防止効果が高い。 ネットと肥料袋が表面水の流下速度を軽減し、さらに綿状マットが表面を保護するので、地山を保護する効果が高い。 亀甲金網の剛性により、礫等の移動防止に効果的である。 	
直接工事費	ラス金網張工+客土吹付工(2cm) 1,874円/㎡+1,606円/㎡=3,480円/㎡※	植生マット肥料袋付(亀甲金網付・P40) 2,532円/㎡	ヤシ繊維ネット・肥料袋付植生マット(亀甲金網付) 2,706円/㎡	侵食防止強化マット(肥料袋付・亀甲金網付)P50 3,013円/㎡	
対象法面への導入について	ラス金網の効果を期待できるが、客土材が表流水等によって流失しやすく、客土材の流失とともに地山土砂の侵食が懸念される。 △	亀甲金網の効果、肥料袋による植物の活着を期待でき、最も安価な工法であるが、侵食防止機能については案④より劣る。 ○	亀甲金網の効果、肥料袋による植物の活着を期待できるが、侵食防止機能については案④よりも劣る。 ○	比較工法中で最も侵食防止機能が優れ、亀甲金網の効果、肥料袋による植物の活着を期待できことから、対象法面に適した工法である。 ◎	

(注) ※印は、宮崎県市場単価(土木コスト情報2017/7.夏, 500㎡以上1000㎡未満)を参照。

4. まとめ

法面緑化工について、現地調査結果を基に、現地に適した工法の検討を行った。その結果、以下の工法を提案する。

表 4-1. 提案工法

適応箇所	提案工法
礫混じり土砂 土壌硬度 13.75 mm	侵食防止強化マット (肥料袋付・亀甲金網付) P50 張工

【提案理由】

上記の提案工法は以下の特徴を有していることから、提案工法とした。

- 対象地の土質は、締め固まりが弱い状態にあるため、工法選定に当たっては、耐侵食性に優れた工法の導入が望ましいことから、上記の工法を提案工法とした。
- 市場単価工法の植生マット工（肥料袋付）と同様の形状をしているが、耐侵食性を強化させたマットであり、綿状マットが雨滴衝撃の緩和、土粒子の移動防止、表面排水等を行うため、導入種子や地山表土を保護する効果が高い。
- 肥料袋を装着しているため、肥料成分が欠乏する土壌に十分に養分を与え、長期間肥効が持続し、植物の安定活着を期待できる。
- 亀甲金網を一体化させたマット製品であるため、マット張作業の1工程で施工が完了し、工程の短縮化や作業スペースの縮減を図れる。
- 亀甲金網の剛性により礫の移動防止に効果的である。

5. 参考積算

名称	規格	単位	数量	単価	金額	摘要
侵食防止強化マット（肥料袋付・亀甲金網付）P50張工 （材料費）					(100㎡当たり)	
キッコウソイルテクターP50	幅1m×長さ10m	㎡	120	1,930	231,600	建設物価掲載価格
アンカーピン	φ9×200mm	本	471	30	14,130	
小計					245,730	
（労務費）						
土木一般世話役		人	0.5	21,000	10,500	
法面工		人	1.6	20,800	33,280	
普通作業員		人	0.8	14,800	11,840	
小計					55,620	
合計					301,350	3,013円/㎡

- 労務単価は、宮崎県の平成29年度公共工事設計労務単価です。
- マットの単価は、建設物価掲載価格です。
- 法面の形状に応じて、固定具の仕様・本数などを変更する場合があります。

ⁱ (社)日本道路協会：「道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)」P210, 2009

ⁱⁱ (社)日本道路協会：「道路土工ーのり面工・斜面工指針」P229, 1999

ⁱⁱⁱ (社)農業土木事業協会：「自然環境を再生する緑の設計」P20-P26, 1993

^{iv} (社)日本道路協会：「道路土工ーのり面工・斜面工指針」P220, 1999

^v (社)日本道路協会：「道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)」P230, 2009