

表土活用による自然の復元や建設発生土を リサイクルする緑化工法「カエルドグリーン工法」

堀江 直樹

日特建設株式会社 技術本部 (〒104-0044 東京都中央区明石町13-18)



キーワード 緑化工, リサイクル, 植生基材吹付工, 自生種

1. はじめに

災害や自然の改変に伴い裸地化した斜面・法面には、安定対策や植生環境づくりが行われる。植生環境づくりには、適切な緑化工を施し、周辺環境と調和した環境改善機能が高い植物群落の造成が求められる。いわゆる失った自然環境の復元である。これら緑化工に用いられる材料には、植物が生育するための基盤材料と種子や苗木などの植物材料があり、緑化用基盤材料の多くにはバーク堆肥やピートモスなど有機質材料が用いられている。

一方、近年の緑化工では、資源の有効利用やトータルコストの縮減、自生植物による自然復元などのキーワードが重要視されてきている。このような中で、建設現場から発生する建設発生土や排泥を使用できる技術や、表土利用による自然の復元が図れる技術が求められている。本報では、「建設発生土」や「表土」、「排泥」などを植生基材の資源として活用できる「カエルドグリーン工法」について示す。



写真-1 植生基材の吹付状況

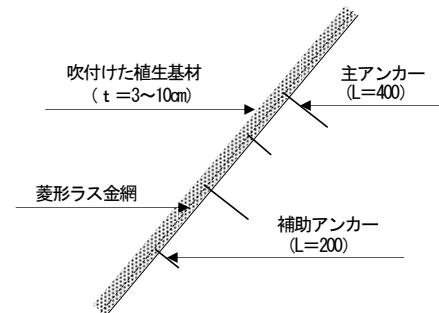


図-1 植生基材の吹付状況

2. カエルドグリーン工法の概要¹⁾

2.1 資源の有効利用が図れる厚層基材吹付工

「カエルドグリーン工法」では、「建設発生土」や「表土」、「排泥」など、今まで廃棄や埋め立て処分していたものを植生基材に改良して用いる。工法名の通り、「ド(土)」を緑化用材料に「カエル(変える)」・そして「グリーン(緑)」を復元させる植生基材吹付工(厚層基材吹付工)である。従来、厚層基材吹付工に用いられている材料は、バーク堆肥やピートモスなどの有機質材料が主であった。これらは、工場で堆肥を生産し植生基材として配合した材料を袋詰めし、現場に納品して用いる。一方、カエルドグリーン工法では、「建設発生土」や「表土」、「排泥」な

ど、現地の資源を現地で植生基材に改良して用いる。そのようなことから、カエルドグリーン工法は、資源の有効利用やリサイクル材料の活用が図れる厚層基材吹付工である。厚層基材吹付工は、地山条件により土砂から岩盤法面に厚さ3~10cmの生育基盤を吹付造成して緑化を図る工法である(写真-1、図-1)。

2.2 有効利用が図れる資源

建設発生土を利用する際の土質区分と使用対象土²⁾から当該工法に利用できる資源は、表-1に示す網掛け

表-1 土質区分基準と使用対象土

区分 (国土交通省令)	土質区分	日本統一土質分類		備考 含水比 (地山) Wn (%)
		中分類	土質	
第1種建設発生土 (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種発生土	{G}	礫	-
	第1種改良土	{S}	砂	-
第2種建設発生土 (砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの)	第2a種発生土	{GF}	礫質土	-
	第2b種発生土	{SF}	砂質土 (Fc=15~25%)	-
	第2c種発生土		砂質土 (Fc=25~50%)	30%程度以下
	第2種改良土	(改良土)		-
第3種建設発生土 (通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの)	第3a種発生土	{SF}	砂質土 (Fc=25~50%)	30~50%程度
	第3b種発生土	{MC}	シルト、粘性土	40%程度以下
		{V}	火山灰質粘性土	-
第3種改良土	(改良土)		-	
第4種建設発生土 (粘性土及びこれに準ずるもの(第3種発生土を除く))	第4a種発生土	{SF}	砂質土 (Fc=25~50%)	-
	第4b種発生土	{MC}	シルト、粘性土	40~80%程度
		{V}	火山灰質粘性土	-
		{O}	有機質土	40~80%程度
第4種改良土	(改良土)		-	
(泥土) 液状土のうちおおむねqc200kN/m ² {2kgf/cm ² }以下のもの及び建設汚泥	泥土a	{SF}	砂質土 (Fc=25~50%)	-
	泥土b	{MC}	シルト、粘性土	80%程度以上
		{V}	火山灰質粘性土	-
		{O}	有機質土	80%程度以上
泥土c	{Pt}	高有機質土	-	

(一部変更)

の範囲である。

第1~4種の改良土は、化学的(セメント・石灰)に性状を改良しているため、硬質であったり強アルカリ性のため用いない。また、礫を含む対象土では、石などの異物の混入率が10%以下であることが望ましい。泥土は、含水比を液性限界以下に脱水する必要がある。

植生基材をエアにて吹付ける工法では、土や粘性土などは、マテリアルホース内に付着しやすく閉塞を引き起こす。いわゆる吹付施工が困難である。一方、当該工法では、吹付施工が可能な植生基材に改良して用いることが可能である。

2.3 生育基盤としての品質

建設発生土を改良して植生資材とした場合、植物の

生育基盤として、保肥力(陽イオン交換容量)、土壌構造(三相分布)、土壌硬度、耐浸食性、植物の生育性が適する必要がある。

(1) 保肥力(陽イオン交換容量)

建設発生土など保肥力が小さい土壌を改良する場合は、バーク堆肥など陽イオン交換容量が高い有機質土壌改良材を混合して15meq/100gを目安に改良する。代表的な建設発生土に対し、有機質材料(バーク堆肥)を20、30、50%混合し分析した結果を図-2に示す。その結果、陽イオン交換容量が約11meq/100gに対し、有機質材料を15%以上混合すると15meq/100gの値を超える。建設発生土の陽イオン交換容量は一様でないため、20%程度の有機質材料を混合することで、保肥力の改善が図れることが確認された。

(2) 土壌構造(三相分布)

生育基盤としての三相分布(固相・液相・気相)は、おおよそ、固相50%・液相25%・気相25%程度が適する。マサ土と脱水ケーキを植生基材に改良し、吹付け造成した生育基盤よりサンプルを抜き取り、その土壌構造(三相分布)を測定した(図-3)。

改良前のマサ土や脱水ケーキは、固相と液相が大部分を占め気相が少ない三相分布であるのに対し、植生基材として吹付けた生育基盤材では、土壌の理想に近い値に改良されることが確認された。

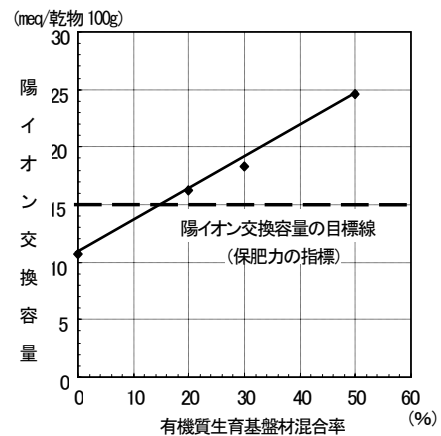


図-2 有機質材料混合量と陽イオン交換容量の関係

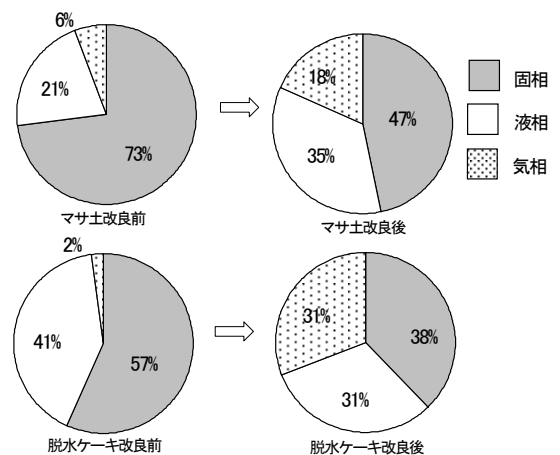


図-3 改良・吹付前後の三相分布の変化

(3) 土壌硬度

土壌硬度からみた植物の生育状態は、土壌硬度指数（山中式土壌硬度計）で粘性土 10～23mm、砂質土 10～27mm では、根系の伸長が良好で、また樹木等の植栽にも適するとされている³⁾。図-4に示すように当該工法で吹付造成した生育基盤の硬さは、植物の生育に適した範囲内で長期推移している。現場発生土を使用し、吹付けによる圧密を経ても適切な硬さを維持できることが確認された。

(4) 耐浸食性

人工降雨実験により生育基盤の耐浸食性を検証した。試験体は、縦1,500×横800×厚さ100の木製型枠内に7cm用厚層金網を布設し、枠内に植生基材を吹付造成して45度の傾斜で固定した。降雨試験は、人工降雨装置を用いて時間当たり100mm/hを60分間連続して降らせた。測定は、15分間隔で浸食流出物を収集し、乾物重量の測定値から浸食厚さに換算して評価した。

試験結果を図-5に示し、状況を写真-2に示す。

生育基盤の耐浸食深は、60分当りの総量で0.00336cmと極めて微量であった。観察状況から流出物は、表面のごくわずかな基盤材であり、浸食を受けている状態ではなかった。また、流出物は、45分をピークに減少しており、高い耐浸食性が確認された。

(5) 植物の生育性

従来から多く行われている有機質基材の厚層基材吹付工と当該工法との生育比較試験を実施した。試験体は、木枠を45度に固定し、枠内に10cm厚さになるように植生基材を吹付造成した。導入植物は外来草本のトールフェスクとし、発生期待本数を1000本/m²とし播種した。生育管理には、灌水装置を設置し、朝夕1日2回散水した。

測定は、生育密度と草丈とし、施工3、6、10、15、20、30、60、120日後に実施した。

試験結果を図-6、7に示す。

生育本数（生育密度）、草丈ともに、同様な傾向で大きな差がなく生育推移しており、当該工法においても従来の有機質基材と同様な生育ができることが確認された。

施工後60日後は生育密度、草丈共に減少しているが、これは各個体が大型化し、個体間の競争や生長量が最大値に達したためである。



写真-2 人口降雨実験状況

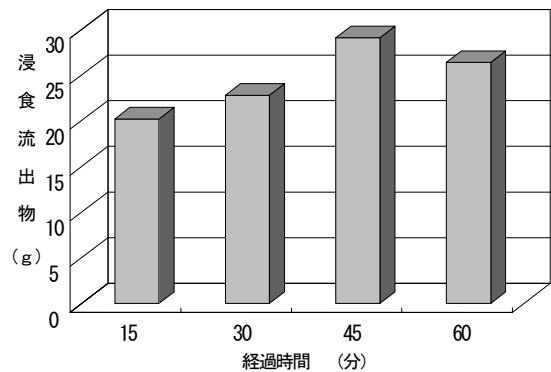


図-5 土壌硬度の推移

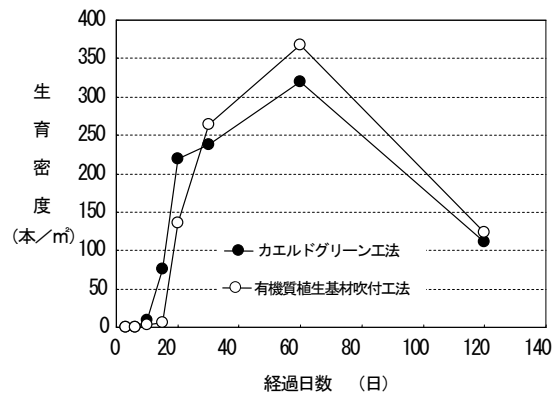


図-6 生育密度の推移

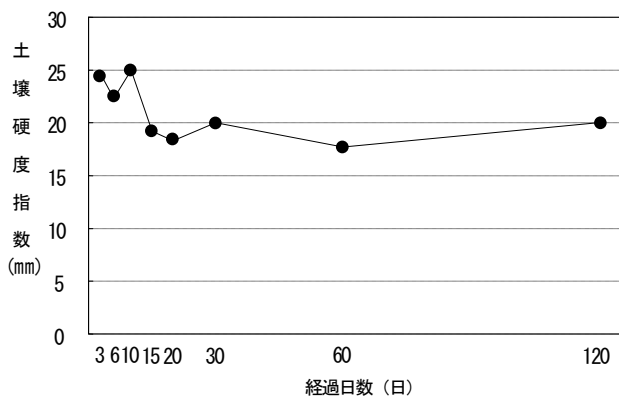


図-4 土壌硬度の推移

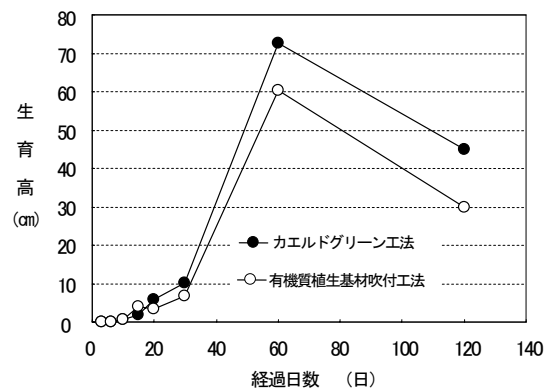


図-7 生育高の推移

3. 施工

3.1適用範囲

当該工法は、表土（森林表土を含む掘削土）・建設発生土・建設汚泥等の利用を条件に、自然復元や浸食防止を必要とする、道路・ダム・造成地・生物多様性への配慮が求められる場所などの斜面・法面に適用できる。従来工法である植生基材吹付工と同様に、土砂法面から岩盤法面まで対応可能である。但し、強酸性や強アルカリ性を示す地盤では、別途対策が必要である³⁾。

標準的な適用基準を表-2に示す。

表-2 適用基準

項目	条件	設計基準	備考
適用法面 勾配		1:0.6より 緩勾配	1:0.6より急勾配の場合、別途に基礎工を検討
吹付厚さ	土砂	3cm	「道路土工切土工・斜面安定工指針」の植生基材吹付工に順ずる
	軟岩	3~5cm	
	硬岩	5~10cm	
金網張工	法面勾配 1割 5分より緩い場合	無	「道路土工切土工・斜面安定工指針」の植生基材吹付工に順ずる
	法面勾配 1割 5分より急な場合	有	
施工範囲 (法高)		40~50m以下 (ホース長 150m以下)	植生基材吹付工と同様

3.2施工手順

施工手順を図-8に示す。当該工法では、準備段階において「土」を確保し、事前に配合試験を実施する。礫や根系等の異物が多く含まれている場合にはこれら異物除去（篩い分けが一般的）を実施する。法面には、法面清掃工後、金網張り工を実施する。植生基材の製造は現場で実施し、製造と同時に連続的に吹付施工する。

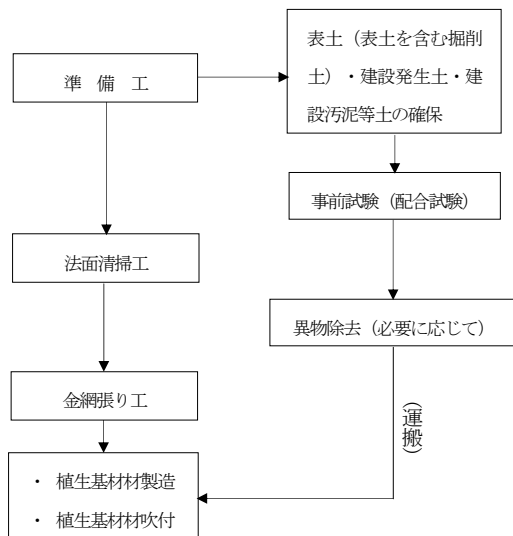


図-8 施工手順

3.3植生基材の標準使用材料

緑化用植生基材として用いられる材料とその内容は表-3に示すとおりである。

表-3 植生基材の材料

使用材料	内容
土（資源）	表土（表土を含む掘削土）・建設発生土・汚泥等
結合阻害剤	粒状化
吸水剤	水の吸収
団粒剤	土壌を団粒構造にし植物の生育に適する構造に改良、耐浸食性が向上
有機質系植生基材	保肥性、物理性の改善
接合剤	土粒子の接合力を高め耐浸食性が向上
肥料	養分の補給（即効性、遅効性）
種子	・緑化目標に応じて配合 ・森林表土内の埋土種子からの生育植物を期待する場合無播種も可能

4 施工事例

4.1濁水処理ケーキの利用による費用縮減

骨材プラントより発生した濁水処理ケーキは、廃棄物として処理されることが多い（写真-3）。当該現場では、これらを植生基材に改良して有効利用（リサイクル）したことで、廃棄費用の縮減・資源の有効利用が図れた。

播種植物は、早期全面緑化を目的に、マメ科草本のメドハギ、外来草本のトールフェスク、クリーピングレッドフェスク、ケンタッキーブルーグラスである。施工2ヶ月後には全面が緑で覆われた。施工後3年の生育状況では、トールフェスク、クリーピングレッドフェスクが優占した草原型の群落が形成されている（写真-4）。



写真-3 濁水処理ケーキ



写真-4 施工後約3年の生育状況

4.2切土工で発生する表土を含む掘削土を利用

施工対象は、新潟県南魚沼市の峠道路工事に伴う切土法面である。法面勾配1:1.0（45度）、地質が軟岩～土砂の条件において、5、8cm厚さの厚層基材吹付工を実施した。

当該地では、周辺の自然植生に配慮した緑化を進めるため、現地の表土を積極的に利用して自生植物による群落の形成を図ることが計画されていた。いわゆる従来の外来植物による急速緑化ではなく、表土に含まれている埋土種子からの発芽生育を目的として、これ以外には種子を一切混入しない緑化手法である。具体的には、現地の切土工で発生する表土（埋土種子が多く含まれる表土）を含む掘削土を植生基材として利用した。

施工後約8ヶ月では、法面全体の20～40%程度が緑被された（写真-5）。日照や水分条件などにより植物の生育にはばらつきが見られたが、メヒシバ、オオバコ、コゴメカヤツリなど一年草本が主に生育してきた。生育密度は、30本/m²程度確認され、植物種は、25種類程度確認された。

外来草本を用いた早期緑化とは異なり、埋土種子からの緑化方法では施工後8ヶ月でも裸地部分が大半を占めている。この状態のまま越冬し、積雪を経たが生育基盤の浸食や融雪による流亡は確認されなかった。

施工後約1年10ヶ月の状況を写真-6に示す。法面全面が自生植物で覆われた状態を維持しており、50種類程度の多様な植物が確認された。草本類では、エノコログサ、オオアレチノギク、ヨシ、ススキ、イ、オオチドメ、クサイなどが主に生育している。

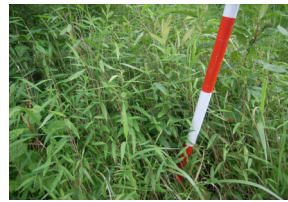


写真-5 施工後8ヶ月の生育状況



写真-6 施工後1年10ヶ月の生育状況

【木本植物】



イヌコリヤナギ



バッコウヤナギ



タニウツギ



キリ

【草本植物】



アカソ



ホタルフクロ



オカトラノオ



カラムシ

写真-7 生育植物の一例

また、アカソ、ホタルフクロ、オカトラノオ、カラムシなど従来工法では短年での生育が見られなかった種類も確認されている（写真-7）。

木本類では、周辺山林に自生しているタニウツギが特に法面全体に優占して生育している。また、キリ、ヤナギ類も見られる（写真-7）。

木本植物の樹高は、1m程度の幼木状態であり、今後の成長が期待される。

4.3切土工で発生した表土を法枠内緑化に利用

当該工事では、切土施工時に発生した表土を用い法枠内の緑化に利用した。緑化目標は、自然復元を目的としたため、表土に含まれる自生植物の種子（埋土種子）からの発芽生育を期待し無播種施工を実施した。写真-8は施工後3ヶ月で、全体のほぼ40%が緑に覆われた。生育植物は、周辺にも見られるシロザ・ユツクサ・カラムシ・センダングサ・カヤツリグサなどの一年草が主で20種類程が確認された。施工1年2ヶ月では、全体が緑で覆われ、法枠の景観が改善されている（写真-9）。植物種も10種類以上増加し、ヤブヘビイチゴ・キリなどの山林周辺で見られる多年草や木本植物も確認された。



写真-8 施工後3ヶ月



写真-9 施工後1年2ヶ月

5. まとめ

表土の活用や建設発生土を植生基材として改良，利用できる「カエルドグリーン工法」の特長を以下にまとめる。

- (1) 表土や建設発生土などを植物の生育に適した植生基材に改良することができる。
- (2) 従来吹付施工が困難であった表土や建設発生土などを，空気圧送可能な植生基材に改良することができる。
- (3) 簡易なプラントシステムで，現場内において一連作業で改良から吹付造成までを行うことができる。
- (4) 建設発生土や排泥を再利用する場合，これらの処分費や緑化資材費が低減されるため，処理費用や法面緑化にかかるトータルコストを縮減することができる。

(5) 埋土種子が含まれる表土を使用した場合，自生植物の生育や微生物による土壌の活性化までもが期待でき，周辺植生と調和する自然復元が可能である。

(6) 資源の有効利用が図れ，時代のニーズに合致する。

6. おわりに

本報では，表土や建設発生土などを，法面緑化用の植生基材として利用することができる「カエルドグリーン工法」の概要と施工事例を紹介した。

建設発生土や排泥などは，廃棄処分を行う際，土であるため減量化が非常に困難なものが多い。従来，廃棄処分が一般的であったものを資源として利用することは，環境負荷低減やコスト削減へとつながるため，できる限り再利用することが望まれる。また，森林表土の利用では，土の中に多くの埋土種子が含まれているため，施工事例においても，自然復元が可能であることが確認されている。しかし，表土には，すでに外来の植物種子が多数侵入している場合もあるため，実績の積み重ねにより，表土の採取源の分析や採取方法の検討もすすめてゆきたい。

開発で失われた自然は，自然の力を借りて回復させる技術が急務であろうと考える。開発段階から自然の再生までも一連の環境技術の確立が必要であろう。

今後，工法のさらなる普及とともに，資源の有効利用が図れる緑化工技術の発展に寄与したい。

参考文献・引用文献

- 1) カエルドグリーン協会：カエルドグリーン工法 技術資料（第2版）2009.7
- 2) (財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル（第2版）1997.10
- 3) (社)日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針 2009.6