

斜面緑化における土壌基盤の研究

The Study of Soil Basis on Green Slope

相馬 裕 Yutaka SOMA (株)ジャパン緑化)
 藤村 尚 Hisashi FUJIMURA (鳥取大学 工学部)
 杉山 容康 Yoshiyasu SUGIYAMA (東新緑地(株))

斜面緑化における植物活着は斜面部分の土壌構成や地下水の有無など自然状況に左右されることが多い。本文は緑化吹付け基材の中からファイバー類に属する木質繊維、鋸さい繊維ではない樹皮繊維を取り上げ、「杉・檜の天然樹皮繊維」を用いた工法で、斜面緑化を試みた。現場は湧水が全くなく植物には過酷な環境下であったが、この樹皮が岩盤に強固に付着、さらに剥離しない性質を利用し、植物がこの繊維に生息可能かを試みるために、施工時および1年後の植物の生育状況を観察しながら、従来型厚層基材を用いた工法との相違をもとに生存緑化について研究を行なった。

この結果、「杉・檜樹皮繊維」のもつ工法は、明らかに乾燥状態に置かれた斜面でも効果が充分得られた。

キーワード：斜面緑化，土壌基盤材，樹皮繊維，気相率，炭素率 (IGC:C07,K06)

1. はじめに

斜面緑化は近年環境問題に取り組む新時代の要請を受け、より経済的かつ技術的な改良工法の研究が次第に活発化している。従来斜面植生は法勾配が1:1より緩い勾配で行なうのが原則といわれてきた。しかし斜面用地の制約や技術の進歩とともに次第に急傾斜地での緑化が求められるようになってきている。しかも急傾斜地では岩盤が多く、緑化技術も植物にとって厳しい環境となっている。そこで斜面部での土壌基盤の硬度を測定する山中式土壌硬度計（山中式）では、植物の根の伸長する限界を硬度指数 23mm（根の伸長圧にして $9.8 \times 10^5 \text{Pa}$ ）としている。草木類の根は、普通土中では間隙が存在するため 27mm ($19.6 \times 10^5 \text{Pa}$) 程度まで侵入可能とし、27mm を超えるものでは侵入が困難といわれている¹⁾。このように草木類の根の伸張は適度な硬度を持った土壌でなければ生育しないことが判明している。

そこで天然樹皮繊維を用いることにより従来の粒状性のある厚層基材との比較を行ない、土壌硬度 27mm を遥かに超える岩盤（土壌硬度 40mm 以上）で吹付け試験を行い、その特性を述べてみた。本文は吹付け試験施工後、約1年以上の経過観察を行なって、無放置状態に置かれた斜面での、自然状態下の岩盤緑化について調べる。

2. 斜面緑化の課題

従来斜面緑化における課題の多くは、自然状態に置かれた植物自体の生育が順調かつ良好な活着が行なえるかということであった。これを受けてここでは植物自体を支える環境調査を行ってみた。斜面でも種子発芽はジベレリンやオーキシンなど多彩なホルモンにより促進されている。とくに低温要求性種子の休眠打破、光発芽種子の暗発芽に対しては大きな作用がある²⁾。ここでは植物発芽に最も影響の大きい土壌基盤に注目しその問題点を探る。一般の厚層基材は土壌が肥料化していく過程において植物に栄養分を与えると考えられているが、近年土

壤の富栄養化に伴う地下水などへの浸透作用により環境破壊が論じられる中、この厚層基材が溶融し近隣河川への流亡化が進み大きな社会問題が起きている。この結果河川や湖沼などはアオコの大量異常発生が進み生態系の激変など環境破壊へと繋がっている。斜面は平面と異なり勾配を伴うために雨水、地下水などのよって容易に流亡化を起こしやすく、土壌基盤技術の向上に努める必要があると考えている。

ここで著者らは天然の杉檜の樹皮を用いた土壌改良材を斜面緑化に吹付け工法として利用する研究を行なった。杉檜の樹皮繊維は他の樹皮繊維に比べ炭素率³⁾が高いために堆肥化しにくいと言われている。

斜面緑化における土壌基盤の3大要素として、著者らは環境保護の見地から腐食化しづらいという要件のほか次に次のような項目を考えている。

- ① 土壌の流亡性が少ないこと
- ② 土壌の気相率⁴⁾ 効果が大きいこと
- ③ 土壌の保温効果⁵⁾ が優れていること

3. 土壌における炭素率

土壌における腐食化速度は土壌の炭素率に影響される。一般に有機質資材の炭素率 (C/N) は表-1 のようである^{4), 5)}。

従来植物への堆肥は炭素率の低い油粕や完熟堆肥が主に用いられてきた。これは植物への窒素分を早く供給するためと考えられていたからである。このため炭素率の高いものは敬遠されがちであった。

さらに炭素率が高いと土壌の腐植化は起きにくい、窒素分が少ないために植物の生育阻害という現象も起きてくる。

植物の「根」における窒素養分は土壌中の微生物との共存にあると考えられている。土壌中のわずかな窒素含有量の平均値は 0.2%。その中でアンモニア態や硝酸態の無機態窒素の占める割合は 1%内外で残りはたんばく質やアミノ酸などの有機態窒素である。土壌中に有機物をエネルギーとする微生物が存在し、それらにより有機

表-1 有機質資材の炭素率

	炭素率 (C/N)
油粕	6
完熟堆肥	15~20
クローバー残査	23
青ライ麦	36
サトウキビ粕	50
稲わら	70~100
杉・檜繊維	88~165
鋤屑	400

表-2 pF 値の限界値

植物における状態	pF 値	備考
圃場容水量状態	2.7	
一気圧状態 (水柱 1,033mm)	3.0	成長阻害水分点 1 気圧= $\log 10^3=3.0$ (pF)
初期しおれ点	3.8	約 7 気圧
永久しおれ点	4.2	約 15 気圧

態窒素はアンモニア化し植物の吸収が可能となる。これが窒素の天然供給として植物に利用されている⁵⁾。

最近ではこの有機系繊維質にミネラルコンポストを適宜混入させて、炭素率の高い繊維内でのバクテリアなどの微生物の活動により植物に適した土壌基盤が用いられてきている。

4. 土壌保水力

土壌の中には水分を保持する力があり、毛管孔隙の水に働く表面張力で水分が減少し、より狭い孔隙に後退するにつれ大きくなる。その大きさは気圧で示される。圃場容水量状態の土壌水分には約 0.5 気圧、植物がしおれはじめるときには(初期しおれ点)約 7 気圧、しおれが回復しないときのつまり植物がもはや吸収できない土壌水分(永久しおれ点)には約 15 気圧に相当する負の力が働く。

土壌水に働く力が強い程、水の自由エネルギーは減少し、植物は吸収しにくくなるのでこの力は土壌水の有効度の指標 (pF 値) になる⁷⁾。表-2 は pF 値の限界値を示す。

通常厚層基材は 5 気圧程度で吹付けを行うが、高圧作用により土壌中の気相率が低下する懸念があるので、出来るだけ土壌の間隙率を高めるほど植物にとって有利になる。したがって保水力もこれに影響を受ける。しかし間隙率を大きくすると土壌は粒子構造のイオン同士の引き付け力が弱体化し、流亡の恐れがある。

樹皮繊維構造では繊維同士の絡み合いによって 5 気圧以下の吹付け圧でも岩盤に密着し、気相率が向上し根への十分な酸素や養分が供給される。



写真-1 海岸隆起した砂岩・凝灰岩の互層（施工前の金網設置は右側、金網なしは左側）面積：10m²/個所（5m×2m）

表-3 吹付け必要資材 (1m² 当り)

資材名	規格	単位	数量	摘要
緑化基盤材	樹皮繊維	リットル	50	
保水材	保水対比	リットル	15	
肥料	配合 (N20-P5-K10)	kg	0.1	
粘性土	良質粘性土	リットル	25	
水		リットル	5	
種子	バミューダグラス	g	10	
	クレーピングレッドフェスク	g	5	
	シロクローバー	g	10	

5. 施工

岩盤緑化の事例として杉・檜の樹皮繊維を用いた工法を示す。現場は第三期層の砂岩・凝灰岩の海岸隆起層を伴った互層で自然状態では湧水はまったくない、1:0.5 の切り取り斜面である。実験斜面の状況は金網付きおよび金網なしの 2 種類を設定した。写真-1 は緑化施工前である。

樹皮繊維と草種(種子)などの必要資材量を 1m² 当りに表したものを表-3 に示す。資材は混合ミキサーにて 1 バッチ (2.5m³) 15 分攪拌混合し、ジェットノズルにて噴射された。写真-2, 3 はその状況である。



写真-2 樹皮繊維と種子の攪拌混合状況



写真-6 平地部での山中式土壌硬度計測定 (樹皮繊維上)



写真-3 金網へのジェット吹付け (t=50mm)



写真-4 樹皮繊維による吹付け (金網なし t=30mm)



写真-5 手前は金網使用 (t=50mm), 奥は金網なし (t=30mm)

表-4 樹皮と厚層基材の発芽状況

	樹皮基材	厚層基材	摘要
吹付け厚さ	30mm	50mm	
草種発芽長 (14日経過)	25 ~ 45mm	7~10mm	
草種発芽長 (45日経過)	120 ~180mm	75 ~100mm	
緑化率 (45日経過)	100%	55%	面積率の算定
土壌硬度 (45日経過)	平均 12mm	平均 23mm	山中式硬度計 (吹付け基盤 の硬度 40mm 以上)

斜面勾配は1:0.5の切土であることから現場では金網を事前に設置した。しかしながら、樹皮繊維は繊維同士の絡みあう特性により流亡の恐れが少ないと考え、金網設置無しも行なった (t=30mm)。吹付け前には乾燥状態の岩盤に十分な散水を施し、接着面をより一層付着し易くした。

写真-4,5は金網のある・なしの作業写真である。

吹付け後14日および45日経過した時の樹皮と厚層基材の発芽状況を表-4および写真-7,8に示す。

写真-6は山中式硬度計の測定写真であるが、今回は斜面上に直角に突き刺して測定を行なっている。



写真-7 吹付け後 14 日経過 (左の樹皮部分は発芽あり)



写真-8 吹きつけ後 43 日経過 (左の樹皮部分は完全に緑化された)

現時点においても草種の生育実験を継続し観察中である。一年後の緑化斜面生育状況は、写真-9、10に示すようにイネ科植物の生育過多による葉茎のオーバーハングにより光合成が妨げられ幼葉の発達不良を起こしていた。一方厚層基材部位における生育は、よくない状況であり厳しい自然環境下にある。特に斜面中央付近での枯渇は甚だしく、吸水力は全く失われていた。一方、樹皮系土壌基盤はよく繁茂していることがわかる。



写真-9 1年後の緑化部比較 (左;樹皮使用, 右; 在来厚層基材)



写真-10 生育阻害の例 (葉茎の過成長により生育阻害が発生)



写真-11 1年後の吹きつけ芝の生育差 (左;在来厚層基材, 右;樹皮基材)

写真-9および10は草木の無放置により過成長した状態のものである。斜面は風当たりが強く、乾燥しやすい場所である。過剰な成長が起きると下葉部位での光合成作用が劣化し、草種全体の成長が止まり、根張りが少なく地下部と地上部のアンバランスになりやすく立ち枯れの原因になる⁸⁾。したがって岩盤緑化においては、病虫害の予防駆除の観点からも、定期的な草刈を促進させ健全な繁茂になることが望ましいと考えている。

写真-11は芝種がクリーピング・レッドフェスクで、冬草、ほふく茎、草丈 10~30cm、寒さ乾燥に強く、初期成長が遅い、特徴をもっている。根の侵入長の差がみられる。

表-5 土壌基盤の特性

項目	杉・檜による樹皮材 (繊維構造)	厚層基材 (粒状構造)
吹付け厚	30mm	50mm
炭素率	88~165	7~16
芝種	①パミュダグラス ②クリーピング・ レッドフェスク ③シロクロローバー	①パミュダグラス ②クリーピング・ レッドフェスク ③シロクロローバー
法勾配	1:0.5	1:0.5
吹付け時の 圧力	3~4 気圧	4~5 気圧
吹付け基材 のロス率	21%	33%~
緑化率 (1.5 ヶ月後)	100%	55%
緑化率 (6 ヶ月後)	90%	40%
緑化率 (1 年後)	80%	10%
草木の引き 抜き状態	根の活着良好	根の発育不良
1年後の吹 付け土壌硬 度	18~20mm	33mm~

6. 樹皮繊維緑化基盤の特徴

前節での斜面緑化実験の結果により双方の土壌基盤の特性を比較して示したのが、表-5である。著しい緑化率の差異がみられる。

7. 今後の課題

斜面では一般に成長の早い外国産の芝草を繁茂させると翌年には肥料切れを起し、成長が衰退するといわれている。種吹付け工法にこのような傾向が多い⁹⁾。わが国のような高温多湿な国では植物の生育に適している。地表面土壌の侵食など移動がなければ、裸地斜面は放置しても植物の侵入は可能となり、自然の立地条件に適応した植物群落が形成されてゆく。長い年月を費やして植生工を実施すればやがて人為的な斜面侵食防止を図ることが出来る。岩盤斜面は植物の生育に必要な養分は殆どなく、地表温度の変化が激しく水不足を招いている。

土壌の気相率を取り上げてみても山中式硬度計により樹皮繊維および厚層基材の土壌硬度は1年後においても2倍近い差が出ている。これらは土壌中の酸素容量の差異により、草木の根の張り具合に大きな相違が出ていると推察される。

さらに日本農学会の土壌の理学的規定から、植生工可能範囲は粘土含有割合が12.5%~50%とされている。これらの規定は地盤工学会の粒度分布範囲と多少相違があるが、直径が0.01mm以下の土粒子を粘土とし、0.01~2.0mmを砂と呼んでいるためである。粘土含有量が12.5%以下の砂土は保水性、50%以上の植土は通風性、透水性に問題があるからである¹¹⁾。今後は規定値について地盤工学的な特性と農業工学的なものとの相関関係を構築する必要があると考えている。

8. おわりに

今回の実験では岩盤緑化を2種類の基材を用いて行なってみた。近年の環境問題や経済的な工法をさらに研究するために農業分野に若干踏み込んだ樹皮繊維を用いた緑化実験を実施した。施工後まだ1年余りしか経過していない状況下のため今後の生育状況はさらに細かく調査を行っていく予定である。時間経過とともに緑化率が低減していくものなのか、現段階においてははっきりと述べることは出来ないが、従来型厚層基材工法との比較実験結果から見ても樹皮繊維は、将来的に有利な工法ではないかと思っている。

参考文献

- 1) 山田剛二, 渡正亮, 小橋澄治: 地すべり・斜面崩壊の実態と対策, 山海堂, p.469, 1983.
- 2) 増田芳雄: 植物の生理, 岩波書店, p.30, 1986.
- 3) 林業試験場研究報告, 第334号, p.62, 1985.
- 4) ㈱ジャパン緑化編: 技術部資料, ㈱ジャパン緑化, p.7, 2002.
- 5) 高橋英一: 「根」物語 —地下からのメッセージ—, 研成社, p.147, 1994.
- 6) 高橋英一: 「根」物語 —地下からのメッセージ—, 研成社, p.145, 1994.
- 7) 高橋英一: 「根」物語 —地下からのメッセージ—, 研成社, pp.83-84, 1994.
- 8) 岡正巳編: 写真と図で見る のり面工の施工ノウハウ, 近代図書, p.90, 1988.
- 9) 小橋澄治: 斜面安定, 鹿島出版会, p.107, 1980.
- 10) 小橋澄治: 斜面安定, 鹿島出版会, p.94, 1980.
- 11) 山田邦光: 最新の斜面安定工法—設計—施工—, 理工図書, p.79, 1987.

(2004年7月28日 受付)