

## 論文

# 露天採掘跡残壁の 自然回帰型修復緑化法の 開発と評価システムの構築

大 竹 照 光<sup>※)</sup>  
齋 藤 貢<sup>※※※)</sup>

大 塚 尚 寛<sup>※※※)</sup>  
鳴 海 貴 之<sup>※※※※)</sup>

## 1. はじめに

従来の露天採掘跡残壁の修復緑化では、土砂の流出防止や残壁の安定を第一条件とした上で、周辺景観との調和を図る観点から、斜面部には樹木を導入せずに草本やツタ植物類で緑化し、樹林化は小段だけを対象としてきた<sup>1)</sup>。これは、斜面部が裸地化した急傾斜岩盤斜面で樹木の導入が容易ではないことから、事業の成立と修復緑化が経済的に見合うことを考慮した施策であったといえる。

しかし、斜面部に草本類だけを導入する緑化法は、樹木の場合に比べて斜面の安定維持機能が低いことや景観面での違和感が残るなどの問題点が指摘されていた<sup>1)</sup>。また、近年では人々の環境問題意識の高揚と相まって、残壁の修復緑化は、周辺景観や地域の生態系と調和した植物群落の回復を目指す、より質の高いものとする<sup>2)</sup>ことが求められている。

これらのことを背景として、本研究では、小段だけに樹木を導入する方法を一步進め、斜面部にも樹木を生育させることによって、残壁全体に周辺と同等の在来の植物群落の形成を目指す緑化法の開発を行った。この緑化法を本研究では「自然回帰型修復緑化」と呼ぶこととする<sup>3)</sup>。

自然回帰型修復緑化を実現するためには、残壁全体に樹木を生育させるための植生基盤の造成が不可欠となる。しかし、発生源が不明な土壌や地域外の土壌を持ち込み造成することは、在来の生態系保全の面から好ましくなく、自然回帰型修復緑化では避けるべきである。そこで、

本研究では、その土地の森林表土に着目し、植生基盤として造成することを考えた。森林表土は地域の遺伝子を保有する埋土種子集団（シードバンク）を含むことから、生態系保全のための緑化材料としては理想的と考えられる<sup>4)</sup>。

本研究では、まず、自然回帰型修復緑化を進める観点から、実際の森林地山において植生基盤を成している森林表土の工学的特性の調査解明と、それを残壁に安定造成するための理論的検討手法を開発した。つぎに、修復緑化過程を評価する観点から、緑化シミュレーションを適用した景観評価実験を実施することにより、自然回帰度を把握するための評価システムを構築した。

本研究は、残壁の修復緑化に求められる社会的要請に応え、美しい国土を回復し、生物多様性に富む生態系の保全に寄与するものとして、今後の残壁に対する修復緑化施策の方向性を示すことを目的としている。

## 2. 自然回帰型修復緑化法の開発

### 2. 1 自然回帰型修復緑化システム

残壁の自然回帰型修復緑化の手法は、残壁全体に近隣周辺の森林表土を植生基盤として造成し、埋土種子を播き出すことによって、地域の生態系を維持した修復緑化を行うものである。本緑化法は、急速な回復緑化には適さないが、自然に働きかける人為的行為を極力排除し、自然の回帰力と自然の法則を活用する修復緑化法である。したがって、本工法は、人為的に早期の回復緑化を目指す従来の急速緑化に対して、常速緑化として位置付けることができる。

※) (株)福島地下開発 取締役技術部長 (岩手大学大学院 工学研究科博士後期課程生産開発工学専攻 在学)

※※) 個人会員 理事 岩手大学工学部建設環境工学科 教授 工博

※※※) 岩手大学工学部建設環境工学科 助教 博士 (工学)

※※※※) 岩手大学工学部建設環境工学科 技術職員

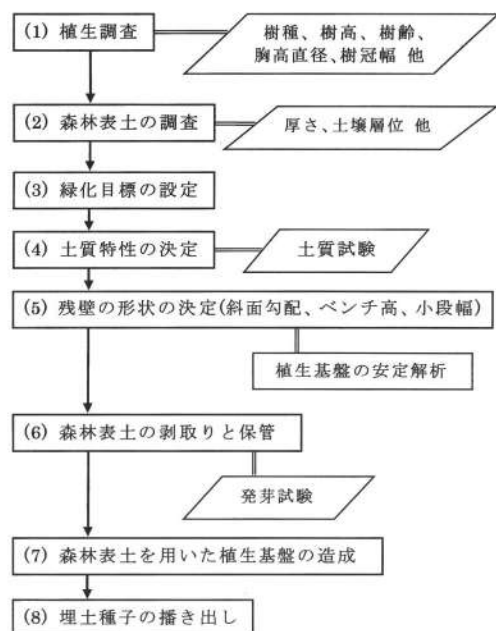


図1 自然回帰型修復緑化システム

図1に本研究で開発した自然回帰型修復緑化法のシステムを示す。図に示すように、本システムは、大きく8つのプロセスで構成される。

#### (1) 植生調査

地域における在来の生態系、特に植物群落を把握する観点から周辺の植生調査を実施する。調査結果は、緑化目標を設定する際の重要な基礎資料となる。主な調査項目は、樹種・樹高・樹齡・胸高直径・樹冠幅などである。この他、地山斜面の向きや気候に関する情報も収集する。

#### (2) 森林表土の調査

植生基盤である森林表土の厚さや土質工学的な特性を把握するための調査である。対象区域内の代表的な位置で土壌層位<sup>5)</sup>の概要を調査する。本調査は、自然地山の植生基盤である森林表土の厚さの確認、土壌層位の把握、目視による土壌の判別分類および室内試験に供する土壌試料の採取を目的とする。

#### (3) 緑化目標の設定

緑化目標は、周辺の植生状態、残壁の勾配あるいは維持管理の内容によって異なるが、自然回帰型修復緑化は在来の植生復元を条件とすることから、周辺在来の植物

群落相当の植生状態の形成を緑化目標とする。実態として資源開発が原生林内で行われることはなく、露天採掘は森林地帯の中でも二次林<sup>6)</sup>地域が対象となる。したがって、緑化目標は隣接する二次林相当の植物群落の形成となる。

#### (4) 土質特性の決定

土質試験によって森林表土の土質特性を解明し、設計に用いる土質定数を決定する資料とする。設計上、必要とする土質定数は、単位体積重量、粘着力および内部摩擦角である。これらの値を用いて土質特性を決定する。

#### (5) 残壁形状の決定

残壁の形状は、斜面部の勾配、ベンチ高さおよび小段幅で決まる。形状を検討する際の第一の条件は、残壁の安定であり、これは斜面の勾配と小段の幅を決定することで確保できる。これらについては、通常、「採石技術指導基準<sup>1)</sup>」(以下、「指導基準」という)に準ずることで問題はない。ただし、所定の植生基盤を安定造成できる斜面勾配は、平面すべり安定解析式<sup>3)</sup>で検討する。

ベンチの高さについては、緑化シミュレーション評価実験の結果をもとに、自然回帰状態と判定できる樹木の高さとその高さに生長するまでに許容し設定できる時間(年月)を考慮して決定する。

#### (6) 森林表土の剥取りと保管

露天採掘において、開発開始から修復緑化までには一般に長い年月を要するため、開発時に埋土種子を別途保存し事後に利用することは原則として考えない。ただし、この場合でも埋土種子の利活用を検討する観点から、発芽実験による植生状態を事前に確認することが望ましい。森林表土の土壌部については、植生基盤としての利用を前提とすることから、混入する埋土種子や地下茎からの発芽の有無に拘わらず、長期間の保存は可能である。この場合、他地域での汚染あるいは風散布種子の混入を回避する観点から、敷地外へは持ち出さず、当該敷地内にシートなどで被覆し保管する<sup>7)</sup>ことを原則とする。

#### (7) 森林表土を用いた植生基盤の造成

自然回帰型修復緑化で造成する植生基盤の厚さは20cm程度<sup>3)</sup>であり、30cm以上にもなることは想定していない。このため、植生基盤の造成は道路盛土などは異なり、薄い単一層の巻き出しとなる。道路の盛土構築の際に行われるような密度管理<sup>8)</sup>などは必要としない。造成に際

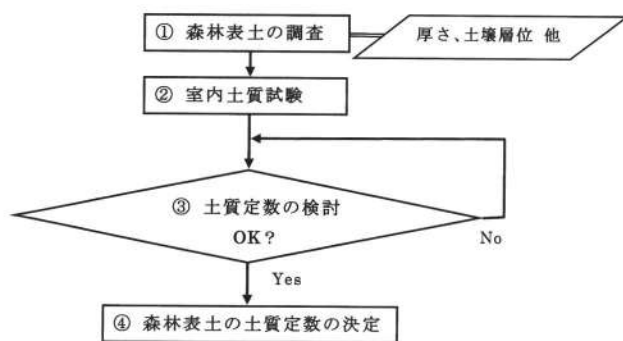


図2 森林表土の調査と評価の手順

しては、必要に応じて散水しながら重機の排土板の類で圧着することで施工する。

#### (8) 埋土種子の播き出し

埋土種子は、修復緑化を行う時点で残壁周辺の森林表土から採取することを原則とする。埋土種子は土壌部にも含まれるが、そのほとんどは地表から深さ5 cmまでの表層部に存在するといわれている<sup>9)</sup>。したがって、修復緑化を行う時点で近接する森林表土の埋土種子を採取し、造成した植生基盤上に播き出すこととする。このときネット工などを施工し、降雨による土粒子や種子の流失を防止するなどの方策を施すことが望ましい。

### 2. 2 森林表土の利用

森林表土は、すでに述べたように、地域固有の遺伝子を有する土であることから、これを当該残壁の植生基盤として造成し利用することは生態系保全の観点から極めて有効である。

図2は、森林表土を植生基盤として利用する際の調査ならびに評価の手順を示したものである。森林表土の調査・評価手順は、以下の通りである。

#### ①森林表土の調査

隣接する周辺地山において、在来の植物群落を形成している森林表土の調査を行う。調査は、森林表土の厚さの確認、土壌層位の把握、目視による土壌の判別分類および室内試験に供する土質試料の採取を目的とする。

この観点から、所定の位置において森林表土を掘削し土壌層位を確認するとともに、室内土質試験に供する土壌を採取する。図3に、森林表土を掘削し土壌層位を確認した事例を示す。

#### ②土質試験

森林表土の土壌部について、採取した土壌を室内土質試験に供し、設計定数を検討する際の基礎資料を得る。

表1に、植生基盤の造成検討に必要な土質試験の項目と方法を示す。

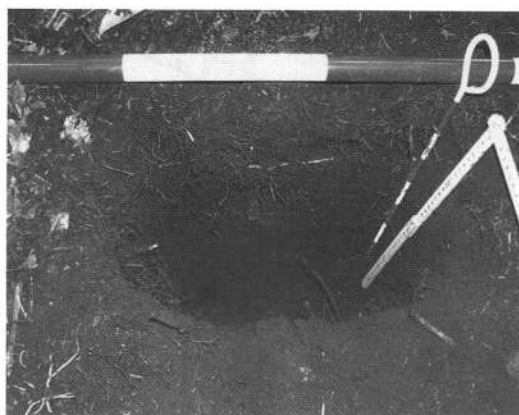
#### ③土質定数の検討

土質試験結果をもとに、森林表土を植生基盤として造成するための設計定数を決定す

る。設計定数は土質試験結果によって一義的に決定できるものではないが、一般には、粒度分布特性から対象土を工学的に分類し、土質工学的手法<sup>10)</sup>を適用することによって設計定数を検討する。例えば、当該森林表土の土

表1 室内土質試験の項目と方法

試験項目	試験方法
土粒子の密度試験	JIS A 1202
土の含水比試験	JIS A 1203
土の粒度試験	JIS A 1204.
液性限界試験	JIS A 1205
塑性限界試験	
懸濁液のpH試験	JGS 0211
強熱減量試験	JIS A 1226

図3 森林表土の土壌層位の調査事例  
(岩手県八幡平市西根町地内)

質特性を勘案した上で、土木の分野における道路盛土の土質定数<sup>8)</sup>などを参考とすることも1つの方法である。

#### ④土質定数の決定

設計に必要な土質定数は、土の単位体積重量、粘着力および内部摩擦角である。この他、設計に必要な条件は安全側であることに配慮し、極力実態を反映した条件となるよう設定する。例えば、地下水位は飽和状態を想定して地表面とする、積雪や樹木に作用する風圧その他の外力を上載荷重として一括して5 kN/m<sup>2</sup>程度を作用させることも一案である。

#### 2. 3 残壁の形状の決定

残壁の形状を決める3つの条件(斜面勾配、ベンチ高さ、小段幅)のうち、まず、植生基盤を安定造成できる斜面勾配を検討し、つぎにこの結果をもとに自然回帰型修復緑化を遂行できるベンチ高さおよび小段幅を決定する。

##### (1) 植生基盤を安定造成できる斜面勾配

自然回帰型修復緑化では、植生基盤として森林表土の利用を前提としているが、森林表土の土壌は未固結の「土」であることから、土が安定する斜面の勾配は岩盤斜面の残壁よりも通常緩くなる。このため、自然回帰型修復緑化における斜面の勾配は、残壁をなす岩盤の安定性で決まるのではなく、造成される植生基盤の安定性に支

配されることになる。造成される植生基盤は、その厚さが20cm程度と薄いことから、厚さに比べてすべり面の長さは事実上無限長と解釈できる。このことから、そのすべりは無限長平面すべり<sup>11)</sup>形態として考察できる。

図4は、植生基盤土塊が無限長の斜面上で釣り合っている状態を示したものである。また、式(1)は、土塊の釣り合い状態から導き出した無限長平面すべり安定解析式<sup>3)</sup>である。自然回帰型修復緑化における植生基盤の安定性は、式(1)によって検討する。

$$F_s = \frac{C' + [q + \gamma_t \cdot h + \gamma' (d - h)] \cos \beta \cdot \tan \phi'}{[q + \gamma_t \cdot h + \gamma_{sat} (d - h)] \sin \beta} \quad (1)$$

ここに、

$F_s$  : 安全率

$C'$  : 有効応力状態での粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi'$  : 有効応力状態での内部摩擦角 (°)

$q$  : 植生基盤に作用する上載応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_t$  : 植生基盤の湿潤重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{sat}$  : 植生基盤の飽和重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  : 植生基盤の水中重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$d$  : 斜面上に直角方向の植生基盤の厚さ (m)

$h$  : 斜面上に直角方向の地下水位の深さ (m)

$\beta$  : 残壁の傾斜角 (°)

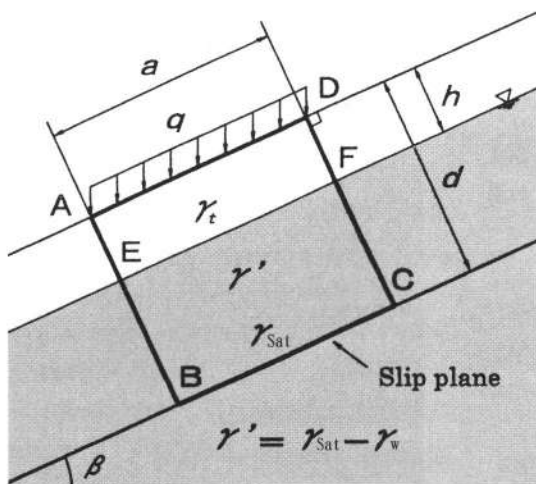


図4 残壁面における植生基盤土塊の力の釣り合い状態

図5は、式(1)を用いて残壁の勾配と安定造成できる植生基盤の厚さとの関係を計算したものである。式(1)の検討から、粘着力の違いが安定性に及ぼす影響は大きいものの、単位体積重量や内部摩擦角の違いによる影響は余り大きくないことがわかる。このことから、図5では、植生基盤を安定造成できる安全率を $F_s = 1.20$ とし、砂や粘土が混合した普通の土<sup>8)</sup>を植生基盤とした場合を想定して、単位体積重量 $\gamma_t = 15 \text{ kN/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ とし、上載荷重を5 kN/m<sup>2</sup>、地下水位を地表面としたときに、粘着力を $C = 6, 7, 8, 9$ および10 kN/m<sup>2</sup>の5段階に変化させた場合の残壁の勾配と植生基盤の厚さとの関係を示した。図から、粘着力が1.0 kN/m<sup>2</sup>異

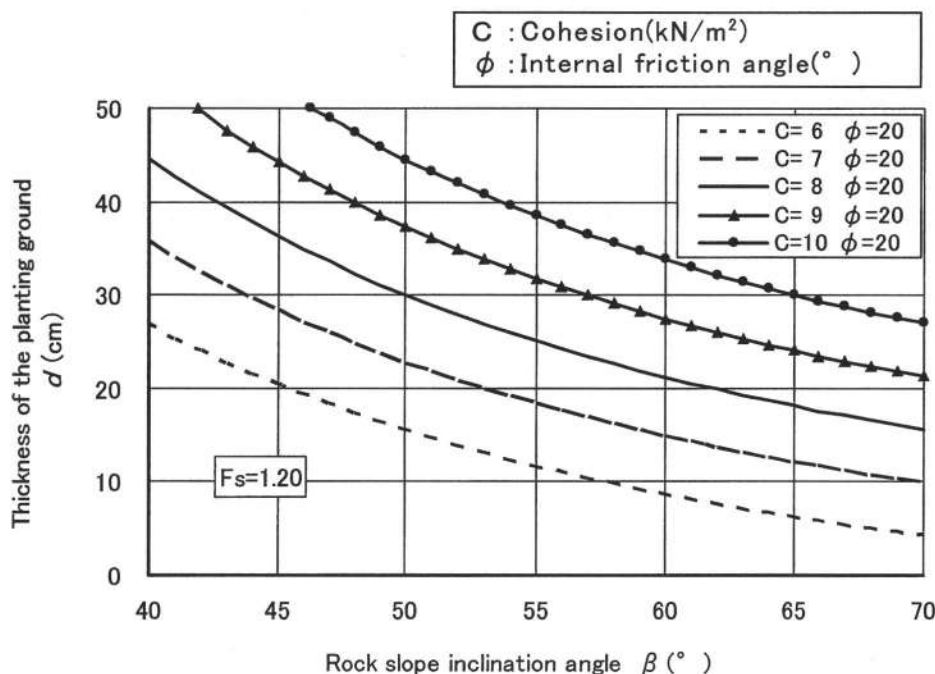


図5 残壁の勾配と植生基盤の厚さとの関係

なると、造成できる植生基盤の厚さが10cm程度変化することが分かる。

自然地山の乱さない場合の森林表土についての調査結果では、粘着力  $C = 8.0 \text{ kN/m}^2$  程度<sup>3)</sup>であることをすでに把握している。また、樹林化に必要な植生基盤の厚さは20cm程度である<sup>3)</sup>が、その造成が可能となる残壁の傾斜角は、厳密には植生基盤の粘着力に左右されるものの、図5から概ね $60^\circ$ 程度以下になるものと考察する。

## (2) 自然回帰型修復緑化における残壁形状

### (A) 斜面勾配

残壁の自然回帰型修復緑化を行う場合、斜面部の樹林化に必要な植生基盤の厚さは概ね20cm程度であり、森林表土を用いてそのような植生基盤を造成し得る残壁の勾配は、上述(1)の考察から $60^\circ$ 以下とするのが望ましい。したがって、自然回帰型修復緑化における残壁の勾配は最大 $60^\circ$ と設定する。残壁地山が $60^\circ$ より急勾配で安定する場合でも、自然回帰型修復緑化のためには $60^\circ$ より緩い勾配に切り直すこととする。

### (B) ベンチ高さ

ベンチ高さについては、指導基準に示される形状を基

本とするが、自然回帰型修復緑化では指導基準の条件を満足した上で以下の通り設定する。

自然回帰状態とみなせる樹木の高さはベンチ高さの6割程度であることが分かっている<sup>12)</sup>。このことから、ベンチの高さは、緑化目標とする植生樹林の高さがベンチ高さの6割程度となるまでに許容できる時間(年月)と採掘量を勘案して決定する。

樹木の成長速度や極相状態の高さは、地形や気候あるいは土壌の養分などによって異なると考えられるが、例えば、札幌市内の道路盛土における落葉広葉樹の調査事例によると、播種後10～15年後には樹高が6～10m程度に達していることが報告されている<sup>13)</sup>。また、岩手県二戸市の折爪地区の例では、林道の切土法面において、厚さわずかに3cmの植生基盤への播種工で、約5年後に樹高2mに達する落葉広葉樹の生長を確認している<sup>14)</sup>。さらに、関西電力㈱のN発電所における落葉広葉樹からなる環境林の例では、苗木の植栽後8～10年で樹高6～7mに達し、その後、樹高の増加は緩慢となる調査データが得られている<sup>15)</sup>。このようなデータを含め、経験的にも、国内の落葉広葉樹から成る二次林は、実生から生長

する場合、10～15年後には樹高6～7mに達するものと想定できる。

樹高6～7mの樹林は、広葉樹ではほぼ極相の状態であることから、この樹高に達したときに残壁が自然回帰状態となる必要がある。この条件を満足するベンチ高さを上述の自然回帰状態の樹高との比率（6割程度）で求めると約10mとなる。本研究では、これをベンチ高さの最大値とする。この最大ベンチ高さを採用する場合には、自然回帰状態となるまでにおよそ10～15年程度を見込む必要があり、これは景観面での許容期間を検討する際の目安になると考える。

以上の考察から、自然回帰型修復緑化におけるベンチ高さは最大10mとし、具体的には、周辺景観面から許容できる樹木の生長速度や事業が経済的に成立する採掘量などを総合的に判断して決定する。

#### (C) 小段幅

小段の幅については、指導基準に示される形状を基本

とする。指導基準では、小段の幅は緑化に用いる樹木の種類によっても異なることを前提に、植生工に必要な最小幅として2mを設定している<sup>1)</sup>。

本研究での自然回帰型修復緑化においても、実際の小段幅は、それぞれの残壁の安定性の確保を条件とした上で、緑化目標とする樹林の樹幅などを勘案して決定することとする。ただし、斜面部に植生基盤を造成する場合の作業性などを考慮し、小段はできるだけ広くとるなどの配慮が必要である。

図6は、以上の検討・考察結果をまとめ、本研究で開発した自然回帰型修復緑化法で提案する残壁の形状を示したものである。

斜面勾配 ( $\alpha$ ) は $60^\circ$  以下、ベンチ高 ( $h_1 \sim h_n$ ) は10m以下、小段幅 ( $d_1 \sim d_n$ ) は2m以上とそれぞれ設定する。なお、残壁高さ ( $H$ ) が100mを越えるような場合には、上半部の底部小段幅 ( $d_{n0}$ ) を10m以上とする。このことは指導基準に同じである。

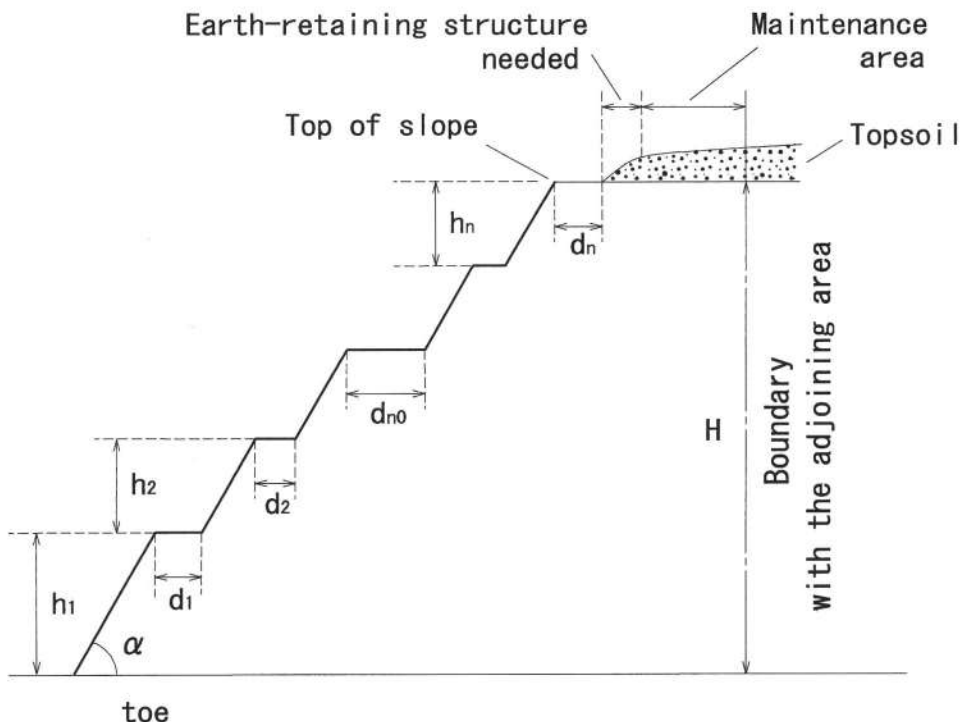


図6 自然回帰型修復緑化法で提案する残壁の形状



## 2. 4 植生基盤の造成

自然回帰型修復緑化では、最大傾斜 $60^{\circ}$ の残壁斜面に厚さ20cm前後の植生基盤を造成する。例えば、道路の盛土を造成する際には、予め土の締固め特性を把握した上で綿密な密度管理による施工を必要とするが、植生基盤の造成に際しては、植生基盤が薄い単一層であることから、このような密度管理は必要としない。残壁面に残る浮き石や土砂などを除去した後、適量の散水を行いながら森林表土を巻き出し、例えば、重機の排土板の類で圧着することで問題はない。また、埋土種子を表層に播き出す際には、降雨などによる土粒子や種子の流失を防止するためにネット工などを施工することが望ましい。

## 3 自然回帰度評価システムの構築

### 3. 1 自然回帰度評価システム

自然回帰度<sup>(6)</sup>は、事前に掲げた緑化目標に対する到達の度合いであり、自然回帰度を評価することは、修復緑化を効果的に策定する上で不可欠である。しかし、特に、その定量的な評価手法が確立されていない<sup>(7)</sup>現状においては、その対応が急務である。修復緑化における自然回帰度を評価する研究としては、生態学的側面から土壌動物相の変化やシダ植物の種数などを指標とする事例を

幾つか認める<sup>(8)~(20)</sup>。しかし、自然回帰度を景観面から評価しようとする既存研究はみられず、修復緑化の効果を景観面から評価する手法の確立が求められている<sup>(16)</sup>。この観点から、本研究では、残壁に生育する樹木の生長過程に着目し、これを指標とした自然回帰度評価システムを構築した。

景観上、修復緑化の進行状況を大きく左右する要素は、樹木の大きさの変化であり、それ以外の要素は余り大きく影響しないと考えられる<sup>(21)</sup>。そこで、本システムでは樹木の大きさを指標とする緑化シミュレーション画像を作成し、評価実験に供することによって自然回帰度を判定した。

図7に、本研究で構築した自然回帰度評価システムを示す。本システムは、大きく5つのプロセスで構成される。

#### (1) 植生調査

植生調査は、前節2.1「自然回帰型修復緑化法の開発」に同じである。特に、樹木密度などをはじめ植生に関する調査データは、緑化シミュレーション画像を作成する際の基礎資料となる。

#### (2) 緑化目標の設定

植生調査結果にもとづいて緑化目標を設定する。これについても前節2.1に同じである。自然回帰型修復緑化における緑化目標は、周辺在来の植物群落相当の植生状態の形成を原則とする。

#### (3) 緑化シミュレーション

自然回帰型修復緑化を策定する際には、修復緑化の過程を事前に把握し評価する必要がある。ここでは、フォトモンタージュによる修復緑化過程の緑化シミュレーションを行う。ただし、シミュレーションに際しては、市販のVRS (Virtual reality system) ソフトなどを用いることも可能である。作成した緑化シミュレーション画像は、別途景観評価実験に供する。

#### (4) 景観評価実験

適切な被験者を選定し<sup>(22)</sup>、所定の緑化シミュレーション画像を用いて景観評価実験を行う。自然回帰度判定のための評価実験には評価尺度法 (Rating scale method) を適用する。

#### (5) 自然回帰度評価

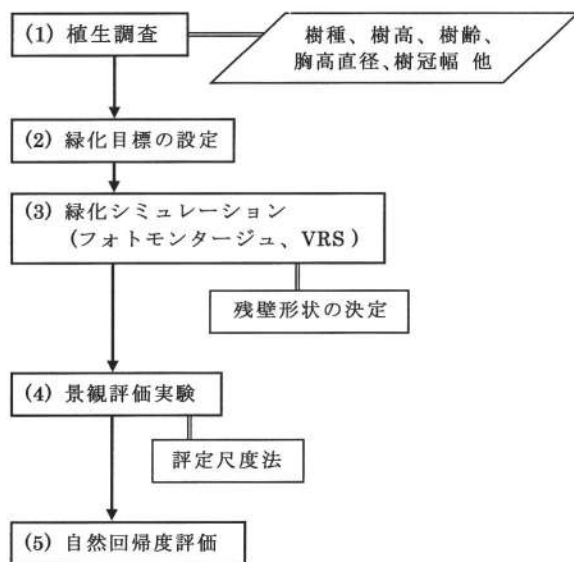


図7 自然回帰度評価システム

評価実験結果をもとに、自然回帰状態とみなせる植生状態を把握し、実際の修復緑化を策定する際の資料とする。すなわち、残壁に樹木が生育・生長し自然回帰状態となるまでの時間（年数）あるいは創出される植生状態を予め把握し、その植生状態を形成するための緑化法を立案検討する際の基礎資料とする。

### 3. 2 緑化シミュレーション

自然回帰型修復緑化を策定する際には、自然回帰度を事前に把握し、より効果的な緑化法を検討する必要がある。自然回帰度は、緑化シミュレーションを用いた景観評価実験によって検討する。

図8に、フォトモンタージュによる緑化シミュレーションと評価実験の手順を示す。

#### ①対象残壁の写真撮影

フォトモンタージュに適用する写真は、所定の位置からカラー撮影する。写真は評価実験に使用するフォトモンタージュ画像の基礎となることから、実際にその現場で体感する景観と近似した状態であることが望ましい。具体的には、景観アセスメント<sup>23)</sup>の際に多用されている35mmフィルム換算で28～35mm程度の焦点距離レンズを用いた写真撮影を行うこととする。

#### ②緑化シミュレーション画像の作成

緑化シミュレーション画像は、撮影した現況の写真を用い、フォトモンタージュによって作成する。シミュレーション画像は、連続性を有する植物（樹木）の生長過程を予測することになるが、実態として連続性を表現す

ることは困難であることから、ここでは樹高を指標として、それを複数段階（例えば、5～6段階）に変化させた画像を作成する。

フォトモンタージュ画像の作成に際しては、関連の市販ソフト「Photoshop」（Adobe Systems社製）を用いる。

図9は、採石場残壁の現況写真であり、図10はそれをもとにPhotoshopによって作成したシミュレーション画像の一例である。

#### ③景観評価実験

所定の緑化シミュレーション画像を用いて景観評価実験を行う。自然回帰度判定のための評価実験には序数尺度の評定尺度法（Rating scale method）を適用する。

実験は、被験者に対して所定の画像を17インチ程度のPC画面または高解像度液晶プロジェクターによるスクリーン映写で呈示し、その画像について被験者の主観に基づいて判断してもらう方法とする。この場合、被験者は対象の残壁に利害関係を持たない第三者とし、少なくとも30名以上<sup>22)</sup>について実験することが望ましい。

図11は、評定尺度法を用いた評価実験で使用するデータシートの例である。この例では、左側に示す5つの形容詞それぞれについて、被験者が下側の評定尺度1～7に示す「思う」ところの該当箇所に○印をつけてもらうものである。

なお、画像の呈示方法は、被験者に規則性を感じないようにランダムとし、2回呈示することが望ましい<sup>24)</sup>。

#### ④自然回帰状態の評価

実験結果から、各形容詞それぞれについて、各被験者の評価結果の平均値を求める。

図12は、各形容詞について、評価結果の平均値をプロットした例である。図では、樹木の生長過程を変化指標としているが、それをベンチ高に対する樹木の高さ比（ $r$ ）で示している。図から、樹木が生長、すなわち高さ比 $r$ が増加すると、被験者の判定はより良好な方向（数値が大きくなる右側）へ移動しているのがわかる。

### 3. 3 自然回帰度評価

評定尺度法は、序数尺度であることから、図12の1～7の数値による定量的な評価は不可能である。しかし、数値による位置関係を把握すること

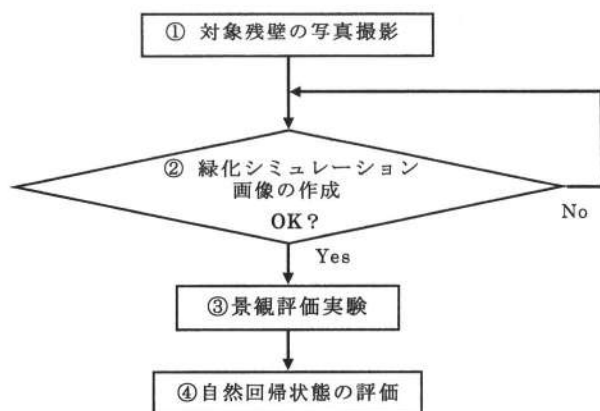


図8 緑化シミュレーション評価実験の手順



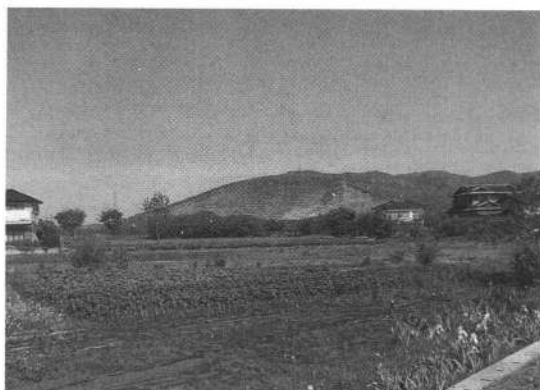
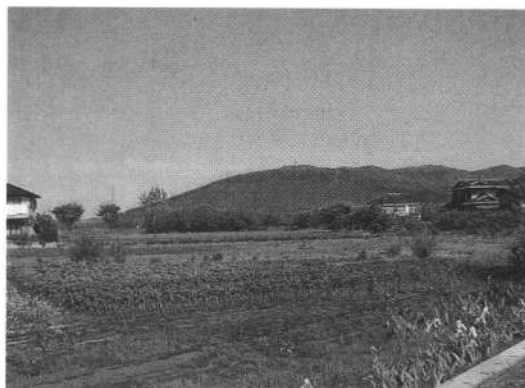


図9 残壁の現況写真

図10 フォトモンタージュ画像の一例  
(残壁のベンチ高さ10mに対して樹高が  
6mまで生長した状態)

### 評価実験シート

平成 年 月 日 ( )      所属 :      氏名 : \_\_\_\_\_

(スライド番号 1 )

周辺の風景と同化している							
			+				
自然な感じがする					+		
緑化部分に違和感がない			+				
緑が豊かである					+		
自然景観として許容できる				+			
	1	2	3	4	5	6	7
	全く 思わない	思わ ない	あまり 思わ ない	どち らとも いえ ない	やや 思う	思 う	非常 に思 う

図11 評定尺度法によるデータシートの例

は可能であり、この観点から、図12の「全く思わない」から「非常に思う」までの7段階の評価にそれぞれ1～7の数値を与え、被験者全員の平均値を求めた。これによって自然回帰の状態を評価する。

図13は、残壁に生長する樹木の高さと自然回帰度との関係を示した例である。この例では、樹木の高さをベン

チ高に対する高さ比で示し、自然回帰度を1～7の数値で与えた評定尺度の平均値で示している。また、この例では両者の関係にほぼ正比例の直線関係を認めることができ、例えば、自然回帰度「4」のときを概ね自然回帰に達した状態とするならば、その時の高さ比は  $r = 0.6$  として評価できる。

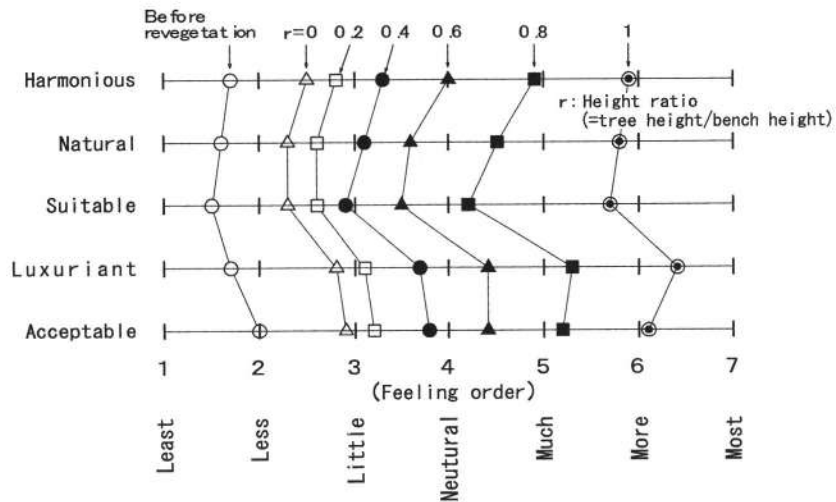


図12 評定尺度法による評価実験結果の事例

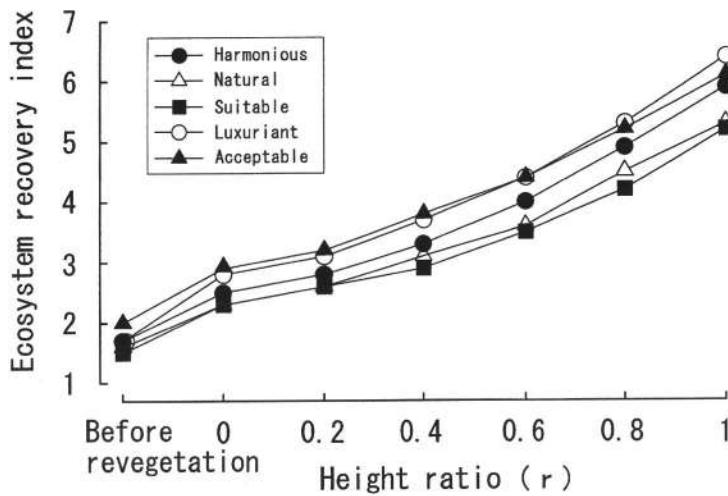


図13 樹木の高さ比と自然回帰度との関係の事例

#### 4 まとめ

本研究では、残壁の自然回帰型修復緑化法の開発と評価システムの構築を行った。まず、自然回帰型修復緑化の手法を特徴づける森林表土の利用について、その調査方法、工学的な評価手法および安定造成のための検討手法をとりまとめ、一連の成果を自然回帰型修復緑化法の開発へと結び付けた。つぎに、自然回帰型修復緑化を策

定する際に、その過程を事前に評価し、より効果的な修復緑化法を立案する観点から、残壁に生育する樹木の生長過程を指標とする自然回帰度の評価システムを構築した。

本研究で得られた成果をまとめると、つぎのとおりである。

(1) 植生基盤材として森林表土の土壌部の利用方法を検討した。これによって、地域固有の遺伝子をもつ植生

基盤の造成が可能となり、この知見をもとに地域の生物多様性保全に寄与し得る自然回帰型修復緑化法を開発した。

(2) 自然回帰型修復緑化を遂行するための残壁の形状を設定した。すなわち、残壁の最大勾配を60°、ベンチ高さを10m以下とし、小段の最小幅を2mと設定する。

(3) 残壁に植生する樹木の生長過程を指標とする緑化シミュレーション画像を適用した評価実験により、自然回帰度の評価システムを構築した。

本研究で開発した自然回帰型修復緑化法と評価システムは、まだ基礎研究の段階であり、実用化に際しては、今後解決しなければならない問題点が残されている。例えば、森林表土を用いた植生基盤の具体的な造成工法の技術開発、造成後の雨水による侵食防止を含む維持管理方法の開発、緑化目標に対する埋土種子の事前評価手法の開発などである。また、簡易なCGなどを適用した景観予測シミュレーションあるいは三次元の緑化シミュレーション手法の開発なども取り組むべき課題と考える。

今後は、本研究での基礎的成果をもとに実用化へ向けた研究と技術開発が必要となる。関連の研究をさらに押し進め、地域の生物多様性保全に寄与し得る修復緑化工法として発展させたいと考えている。

最後に、本研究の一部は平成18～19年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)(課題番号18560779)ならびに平成19年度石灰石鉱業協会研究奨励金により行われたことを付記し、謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 採石技術指導基準編集委員会：詳解採石技術指導基準、ぎょうせい、2004
- 2) (社) 資源・素材学会：残壁ハンドブック、丸善、p.204、2005
- 3) 大竹照光・大塚尚寛・齋藤貢・阿部洋祐：Journal of MMIJ、Vol.123、p.329-335、2007
- 4) 亀山章監修：生物多様性緑化ハンドブック、地人書館、pp.187-199、2006
- 5) 森林土壌研究会：森林土壌の調べ方とその性質(改訂版)、林野弘済会、p.33、1993
- 6) 日本緑化工学会誌、Vol.29、No.4、p.509、2003
- 7) 地盤工学会：自然環境の保全と緑化、地盤工学会、p.21、2004
- 8) 東日本/中日本/西日本高速道路株式会社：設計要領第一集・土工編、NEXCO 中央研究所、2006
- 9) 中越信和：再度山の森林群落における埋土種子集団の研究、再度山永久植生保存地調査報告書第2回、p.69-94、1985
- 10) 地盤工学会：N 値と C・φ の活用法、地盤工学会、p.140、1998
- 11) 松井保監修：植生技術による斜面安定工法—侵食防止のための実務ガイド—、森北出版、p.46、2004
- 12) 大竹照光・大塚尚寛・志田寛・阿部洋祐：資源・素材学会春期大会講演概要集、Vol. I、p.89-90、2007
- 13) 孫田敏・渡辺修他：「野生生物と交通」研究発表会講演論文集、(社) 北海道開発技術センター、2、1-8、2003
- 14) 古田智昭・吉田寛：日本緑化工学会誌、Vol.30、No.2、p.377-382、2004
- 15) 日本緑化工学会：環境緑化の事典、朝倉書店、p.201、2005
- 16) 大竹照光・大塚尚寛・志田寛・阿部洋祐：資源・素材学会春季大会講演概要集、Vol. I、p.139-140、2006
- 17) 増田俊二：第20回道路緑化技術発表会要旨論文集、社団法人道路緑化保全協会、p.16-17、2000
- 18) ソン ゼェタク・節孝夫：日本緑化工学会誌、Vol.30、No.1、p.21-26、2004
- 19) 橋隆一・西村香奈子・宮本沙織・福永健司：日本緑化工学会誌、Vol.29、No.1、p.56-61、2003
- 20) 松井理恵・村上健太郎・森本幸裕：日本緑化工学会誌、Vol.29、No.1、p.119-124、2003
- 21) 大竹照光・大塚尚寛・齋藤貢・鳴海貴之：資源・素材2007(名古屋)企画発表・一般発表(A)(B)講演資料、B6-5、2007
- 22) 外園貴彦・大塚尚寛・志田寛・齋藤貢：Journal of MMIJ、Vol.122、p.589-595、2006
- 23) 自然環境アセスメント研究会：自然環境アセスメント技術、自然環境研究センター、pp.638、1995
- 24) 外園貴彦・大塚尚寛・志田寛・齋藤貢：骨材資源、No.151、2006