

土木学会 地盤工学委員会 斜面工学研究小委員会

生態系と環境WG「斜面緑地と防災」

## 根系と斜面・のり面の安定

—表層地盤調査器具「SH型簡易貫入試験機」について—

ジョグリーンテック（株）表層地盤研究所 所長 中野裕司

（中野緑化工技術研究所）

### ◇関連資料◇

#### ■SH型簡易貫入試験機・土層調査関連

- ①改良型簡易貫入試験機の開発 \* (2002年, 川満, SABO vol. 73 Jun. 2002)
- ②斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機について \* (2002年, 吉松ら, 平成14年度砂防学会大会要旨集)
- ③崩壊発生源頭部における簡易貫入試験 (2003年, 井良沢ら, 平成15年度 林学会大会要旨集)
- ④緑の斜面づくり対策の調査について (2000年, 前田ら, SABO vol. 65 Mar2000)
- ⑤根系が切土のり面の安定性に与える影響 (2002年, 佐藤ら, 平成14年度 地盤工学シンポジウム)
- ⑥SH型簡易貫入試験機パンフレット \*

#### ■水分計付貫入試験機関連

- ⑦貫入試験機を用いた斜面土壌水分空間分布の計測手法の開発 (2002年, 小杉ら, 平成14年度砂防学会大会要旨集)
- ⑧水分計付貫入試験機を用いた斜面土壌水分空間分布の計測 \* (2003年, 小杉ら, 平成15年度砂防学会大会要旨集)

#### ■付録

- ⑨現場技術者から見た切土法面に対する『自然回復』の問題点 \*  
—植物材料と工法選定に関わる諸問題—  
(2002年, 中野, 斜面緑化研究部会第9回研究会「切土のり面の緑化と自然回復に関する討論会」)

\*: 本冊子に資料を添付したもの

# 根系と斜面・法面の安定

(表層地盤調査器具

「SH型簡易貫入試験機」

について)

ジオグリーンテック株式会社

表層地盤研究所 所長 中野裕司

(中野緑化工技術研究所)

## 従来の斜面緑地・のり面の捉え方(1)

### ■土木分野

- 樹林や表層土を崩壊因子として捉える
- ↓
- それらを除去して、斜面の安定を図る  
(※設計時に考慮されるのは、現状の土層状態のみ)

樹木を排除する傾向

## 従来の斜面緑地・のり面の捉え方(2)

### ■林学分野

- 樹木根系伸長により、土層厚の増加及び土層のせん断強度低下が促進される
- 一方、根系の土層強度補強効果、崩壊抑止効果を評価

樹木根系の補強効果は粘着力 $c$ として評価でき、根系密度が高くなると内部摩擦角 $\phi$ が増す(根系密度・含水比で変化・表層地盤の複雑性の評価)

根系の効果を評価する傾向

## 従来の斜面緑地・のり面の捉え方(3)

### ■のり面緑化分野(斜面樹林化)

- 樹木の垂直根による杭効果
- 水平根によるネット効果

によりのにり面は安定する

根系の効果を肯定する傾向

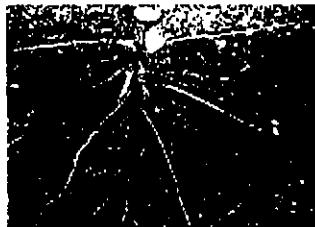
(一部絶対視・たね派?)

## 斜面樹林化

http://www.sh-nk.jp/guide/2002/01/01/01\_01.html  
http://www.sh-nk.jp/guide/2002/01/01/01\_02.html



施工前



根系伸長状況:  
播種木は植栽木に比べて立地条件に応じた生育するので、直線的に力強く伸長します。また、隣木同士の根系絡み合うので、防災機能が向上します



施工3年後

## これからの斜面・のり面緑地の扱い(1)

### ■社会的ニーズ

斜面・のり面に樹林を残しながら、安全を確保する

### ■これまでの技術・知見

樹林による土層厚増加(崩壊危険性の増大)と、樹木根系による斜面安定効果は表裏一体

### ■今後の斜面・のり面緑地の扱い

斜面・のり面緑地を保全するため、調査・点検・補修を実施  
土層の経時変化を把握(点から面的調査へ)

## これからの斜面・のり面緑地の扱い(2)

### ■これまでの技術・知見

樹林による土層厚増加(崩壊危険性の増大)と、  
樹木根系による斜面安定効果は表裏一体 と言うものの

土木・林学は時間軸の取り方・地形(勾配)が異なる。

林学:風化土層の増大と崩壊の反復(シラスでは約50年)

風化斜面 : ネット効果による土壌緊縛→急勾配・崩落

硬質岩盤斜面: 割れ目に根系侵入 →急勾配・落石

土工事によるのり面の耐用年数は?

短期間で見るならば、安定サイドに働く(樹林化)

長期的には、不安定要因となる

(風化土層の発達崩落・落石)

→ 土層の経時変化を面的に把握し適切な対応が必要

## 従来の斜面土層の調査器具

### ■斜面調査用簡易貫入試験機(重錘5kg)

#### ●用途

斜面土層の構造を簡易に把握する

#### ●測定結果の表示

Nc値(10cm貫入するのに要する打撃回数)

#### ●問題点

重錘が5kgと重く貫入力が強いために、

精度が粗く根系発達状況や表層崩壊

発生深度の推定が困難である

⇒新たな試験機を開発した



## 表層地盤調査器具の開発

### ■SH型簡易貫入試験機

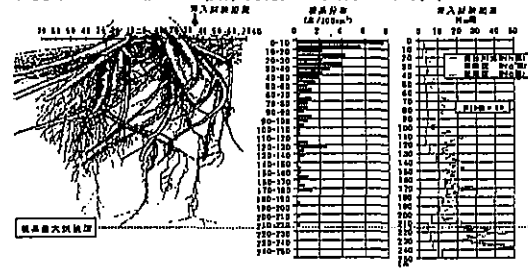
従来型の「斜面調査用簡易貫入試験機」の  
高性能化・作業軽便化を図った  
(砂防・地すべり技術センターとの共同開発)

### ■土壌水分計付貫入試験機

「長谷川式土壌貫入計」にTDR土壌水分計  
を取り付け、土層硬度と土壌水分状態を同時  
に測定可能とした(京都大学と共同開発中)

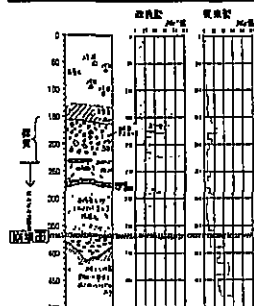
## SH型による根系発達深度の推定

- SH型ではNc' 20を基準値として根系発達深度を推定可能
- 従来型のNc値では根系発達との関係が不明瞭



コナラ 関東ローマ・厚木市

## SH型による表層崩壊面の予測



崩壊跡地での貫入試験例(1) (同様: 野町、厚木)

### ●SH型(中図)

崩壊面付近でNc' 値が急増し、それ以上測定不能  
崩壊面を捉えている

### ●従来型(右図)

貫入力が強いために、崩壊面付近でのNc値の挙動が不明瞭

## SH型簡易貫入試験機の概要

### ■構造上の改良点

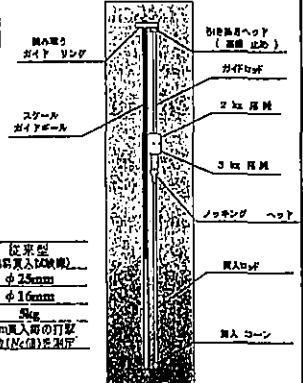
- ①貫入量を一打撃毎に測定
- ②重錘を3kg+2kgの着脱式に改良



### ■性能の向上

- ①詳細な解析が可能
- ②高い分解能が得られた(2kg重錘を付加することで従来型と同じ貫入能力で測定可能)
- ③作業の軽便化を実現

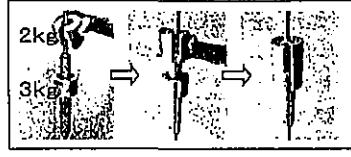
### SH型の構造(1)



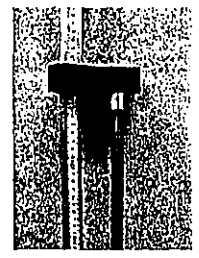
#### SH型と従来型の仕様

	SH型	従来型 (90°貫入試験機)
先端コーン径	φ25mm	φ25mm
貫入ロッド径	φ16mm	φ16mm
重錘	3kg+2kg(着脱式)	5kg
測定方法	一打撃時の貫入量で測定	10cm貫入時の打撃回数(Nc値)を測定

### SH型の構造(2)

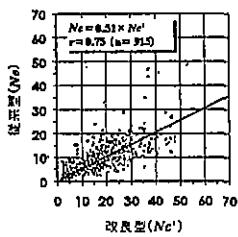


3kg+2kg着脱式重錘



一打撃毎読取スケール

### SH型と従来型の測定値の関係

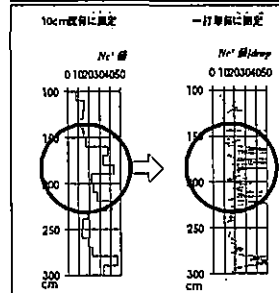


Nc値(従来型)と  
Nc'値(SH型3kg)の関係

SH型(3kg重錘)による測定値をNc'値とすると  
 $Nc = 0.5 \times Nc'$   
の関係が得られた

↓  
既存の研究事例の豊富な従来型によるNc値のデータと互換性がある

### SH型の一打撃毎読取の解析力



礫含有土層での調査事例

●左図  
従来の10cm深毎の測定では硬い土層が出現したように見える  
↓一打撃毎で測定

●右図  
礫による局所的な硬いデータが見られ、土層自体はそれほど硬くないことが分かる

### 土壌水分計付貫入試験機の概要

#### ■斜面土層の水分分布測定必要性

- ①崩壊予測のためには斜面土層内の雨水の移動に関する情報の収集が重要
- ②降雨後や崩壊後の土層の水分分布を効率良く機動性高く測定する手法が必要

#### ■試験機の開発

- ①「長谷川式土壌貫入計」の先端にTDR土壌水分計を取り付けた
- ②土層の硬さと土壌水分の鉛直分布の同時測定を可能とした

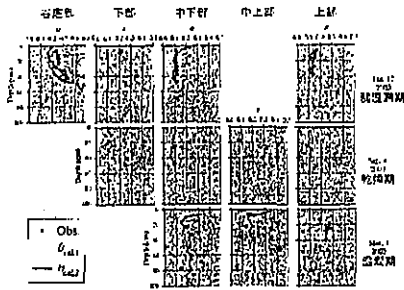
### 土壌水分計付貫入試験機の構造



貫入コーン直上に取り付けたTDRセンサー部  
(アクリル管にステンレスワイヤーをコイル状に巻き付けてTDRプローブとした)

土壌水分計付貫入試験機

## 実斜面での土壌水分の測定事例

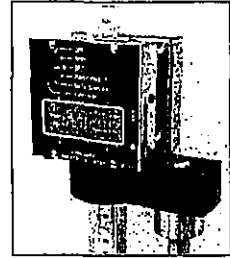


- 試験機による体積含水率(赤線・青線)が秤量による実測値(●)を良く再現
- 計測値のキャリブレーションに土層硬度を取り入れた方(青線)がより精度が高い

(赤党内キャリブレーション補正式 真土層の硬度による補正組み込み)

## 今後の課題

- ① 一打撃毎の貫入データを自動的に読み取る機器を開発し、測定精度・作業効率を上げる(試作器実証段階)
- ② 自然斜面や崩壊地での測定を多数実施し、土層構造と貫入試験の対応データを蓄積する(表層微地質?の確認)



開発中の貫入量自動読取機

# 改良型簡易貫入試験機の開発

川満一史\*

## 1. はじめに

斜面調査用として、土研式貫入試験機を小型軽量化した簡易貫入試験機<sup>1)</sup>(従来型と称す)は、地表下5m程度以浅における地盤の構造を簡易的に把握するために優れた装置である。しかし、表層部における根系発達状況の把握等微妙な構造の把握や地表下5m程度に位置すると考えられる表層崩壊等すべり面については、その5kg重錘による貫入力の強さにより、十分に把握できない傾向にある。一方、根系発達深度等、地表付近の微妙な構造を把握することを目的として重錘2kgの長谷川式土壌貫入計(長谷川式と称す)が開発されているが、ロッドの周面摩擦等の影響や貫入力の不足により2m以深の測定が困難であるという問題が生じている。そこで、上記両試験機の欠点を補い、かつ両試験機の探査能力を備えた貫入試験機(改良型と称す)の開発を、ジオグリーンテック株式会社との共同で行った。また、これらの試験機を用いて現地測定を行い、改良型の特性を検討したので、ここに報告する。

## 2. 改良型簡易貫入試験機の構造

従来型と長谷川式の探査能力を備えたものとなるよう検討した結果、改良型の構造を以下のとおりとした。

- ①重錘を3kgと2kgに分割し、着脱可能な構造とした。3kg重錘による測定は、長谷川式と同等の

分解能・貫入力で、浅い深度における地下構造を詳細に把握できるものとし、さらに2kg重錘を追加することにより、従来型と同等の測定能力を確保し、基礎地盤深度等の推定を可能とした。

- ②従来型、長谷川式のロッド径はいずれもφ16mmだが、先端部のコーン径は従来型がφ25mm、長谷川式がφ20mmである。φ25mmのコーン径の方が周面摩擦の影響を受けにくく、深部まで測定可能であるため、改良型のコーン径をφ25mmとした。
- ③長谷川式同様、試験機本体と並行に目盛りの付いたガイドポールを取り付けた。これにより、一打撃毎の貫入量を読み取ることができ、より詳細な解析が可能となった。
- ④従来型に比べ、破損しにくい材質・構造とした。

### 2.1 着脱式重錘

開発した着脱式重錘(3kg重錘に2kg重錘を付加出来る機構)を写真2.1に示す。

この構造では、測定器を解体しなくても2kg重錘を測定途中で付加可能である。また装着部がテーパ構造になっているため装着後(右写真)は一体化して外れにくく、しかも取り外しはハンマーを用いれば簡単に出来る。

表2.1 各試験機の構造

	土研式貫入試験機	従来型 (簡易貫入試験機)	長谷川式	改良型
先端コーン径	φ30mm	φ25mm	φ20mm	φ25mm
貫入ロッド径	φ25mm	φ16mm	φ16mm	φ16mm
重錘	5kg	5kg	2kg	3kg+2kg(着脱式)
材質(重錘以外)	—	S45C SUS416	SUS304	SUS304
測定方法	—	10cm貫入毎の打撃回数(Nc値)を測定	一打撃毎の貫入量を測定	一打撃毎の貫入量を測定

\* (財)砂防・地すべり技術センター 斜面保全部

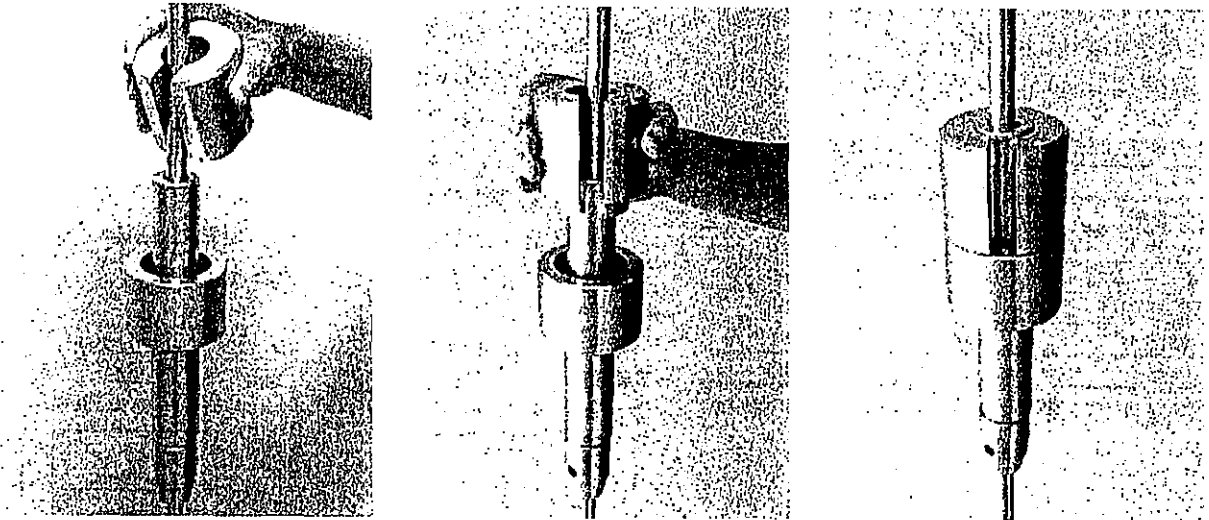


写真2.1 落脱式重錘 (3kg~5kg)

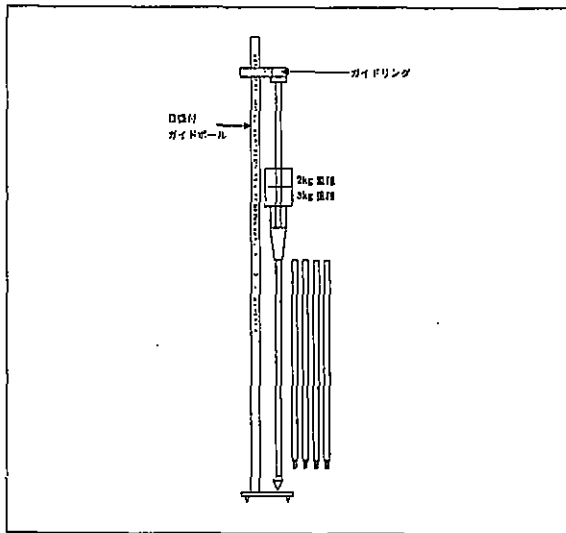


図2.1 改良型簡易貫入試験機の全体図

### 2.2 試験機の材質

従来型と長谷川式の材質を参考に、改良型では表2.1に示す材質とした。主な改良点は重錘以外の材質をステンレスSUS304にして強度を増したことであり、従来型に比べ、ネジの折損やネジ山の潰れが発生しにくい。

### 3. 各試験機の貫入力比較

各試験機によるN10値測定結果から、従来型、長谷川式の貫入力をそれぞれ1とした時の改良型の貫入力比を土質別に表3.1に示す。比較に用いたN<sub>10</sub>値とは先端コーンが10cm貫入するのに要する打撃回数であり、従来型によるN<sub>10</sub>値はN<sub>c</sub>値と同意である。また、表中の計算値とは動的貫入試験機の貫入力の比較によく用いられるもので、「重錘 (kg) × 落下距離 (m) / コーンの面積 (cm<sup>2</sup>)」により求められる。

改良型 (3kg重錘) の貫入力は、計算値によれば長谷川式とほぼ同等 (長谷川式:改良型=1:0.96) である。実際の試験結果でも、それに近い貫入力 (1:1.04) が得られた。すなわち、改良型は長谷川式同様に軟らかい土層での分解能が高く、根系発達深度等を把握可能と考えられる。

また、従来型に対する貫入力比は、計算値では従来型:改良型=1:0.60で、現地測定の結果では、約半分の貫入力 (従来型:改良型=1:0.51) となった。この結果は、大久保ら<sup>2)</sup>の報告 (重りを変えた時の換算) とほぼ一致する結果となった。

表2.2 改良型簡易貫入試験機の材質

部 位	材 質	熱 処 理	表面処理	従来型の材質
先端コーン	SUS304	高周波焼入れHRC55~60	未処理	S45C
ノッキングヘッド	SUS304	熱処理なし	未処理	S45C
ロッド	SUS304	熱処理なし	未処理	SUS416
ガイドロッド	SUS304	熱処理なし	未処理	SUS416
重錘	S45C	熱処理なし	電気亜鉛メッキ	S45C



これより、改良型（3kg重錘）の $N_{10}$ 値は次式を用いて、従来型の $N_c$ 値に換算できる。

$$N_c \text{値(従来型)} = 0.5 \times N_{10} \text{値(改良型3kg)} \quad r=0.75$$

表3.1 従来型、長谷川式に対する改良型（3kg重錘）の貫入力比

	従来型=1	長谷川式=1
計算値*	0.60	0.96
マサ土	0.65	1.15
関東ローム層	0.44	1.00
第四紀砂層	0.54	1.05
粘性土	0.44	0.97
全体	0.51	1.04

\*計算値( $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ) = 重錘(kg) × 落下距離(m) / コーンの面積( $\text{cm}^2$ )

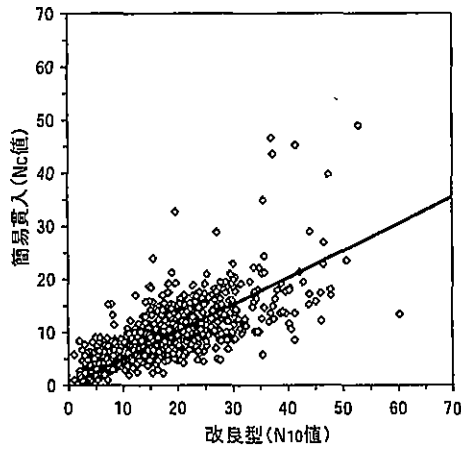


図3.1  $N_c$ 値(従来型)と $N_{10}$ 値(改良型3kg)の関係(全土質)

#### 4. 現地適用性の検討

##### 4.1 貫入抵抗値の一打撃毎表示による解析力

従来型では、 $N_c$ 値と称して10cm貫入毎の打撃回数で土層構造を解析してきたのに対し、改良型では一打撃毎の貫入抵抗値( $N_{10}$ 値)で解析できるようにした。その解析力の差異について一例を挙げる。

図4.1に礫含有土層における貫入試験結果(改良型3kg)を示す。

福永ら<sup>3)</sup>は、礫の混入により $N_c$ 値は著しく変化し、植物の生育との関わりをもつ土層の判断が難しくなると報告し、礫含有土層の $N_c$ 値の問題について指摘している。 $N_c$ 値のように10cm貫入毎の打撃回数で表示した場合、礫にぶつかった瞬間の貫入抵抗値とマトリックス(土)の貫入抵抗値は平均化され、図4.1左図のように全体的に高めめの値となる。

同じ測定結果を一打撃毎の $N_{10}$ 値で表すと図4.1右

図のようになる。貫入抵抗値が著しく高くなるのは貫入コーンが礫にぶつかったためと推測され、その度に $N_{10}$ 値50以上の貫入抵抗値を示す傾向が見られるが、礫にぶつかっていない時の貫入抵抗値は低い値を示している。

植物の根系はこのような礫と礫の間の軟らかい部分を縫うようにして伸長する。実際に、この礫含有土層にもスギ根系の発達が認められた。

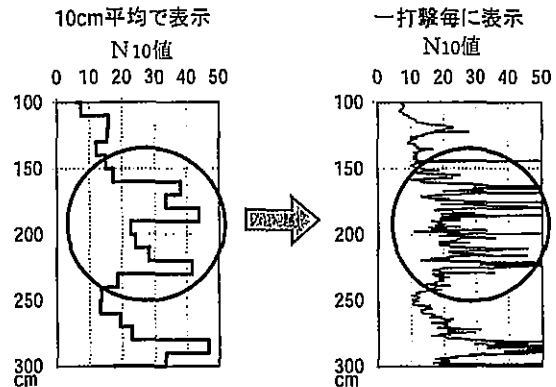


図4.1 礫含有土層での調査事例(改良型3kg)

このように、改良型は一打撃毎の貫入抵抗値を記録可能な構造としたため、こうした礫を含有する土層においても礫による貫入抵抗値とマトリックス(土)本来の貫入抵抗値を分離することが出来る。その結果、表層崩壊面の推定において重要な要素となる樹木の根系発達深度も的確に把握出来るものといえる。

##### 4.2 基礎地盤深度の推定

構造物等の支持基盤強度の目安は、一般に標準貫入試験による $N$ 値により、砂質土では30<、粘性土では20<とされている<sup>4)</sup>。

$N$ 値と $N_c$ 値の関係については、大久保ら<sup>1)</sup>や稲田<sup>2)</sup>により、 $N_c = (1 \sim 4)N$ という関係が得られているので、 $N$ 値による支持基盤強度を30<とすれば、 $N_c$ 値に換算しても30<となる。

この判断値を改良型に適用した場合、前項3で示した関係式 $N_c$ 値(簡易貫入) =  $0.5 \times N_{10}$ 値(改良型3kg)より、改良型 $N_{10}$ 値60<という判断値になるが、この値は、3kg重錘による測定限界 $N_{10}$ 値50を上回り(一打撃の貫入深2mm以下)、測定不能域である。

そこで、着脱式の2kg重錘を追加し、5kg重錘として測定する。すなわち、構造上は従来型と同じ能力になり、改良型(5kg重錘)による支持基盤強度も、





従来型と同じ $N_{10}$ 値= $N_c$ 値30<で評価することができる。

このようにして基礎地盤深度を推定した例を図4.2に示す。

図から見て取れるように、3kg重錘では基礎地盤深度に達する前に測定不能となったが、途中で2kgの重錘を追加すると、従来型と同じ貫入力となって、より深層にある基礎地盤深度の推定が可能となった。

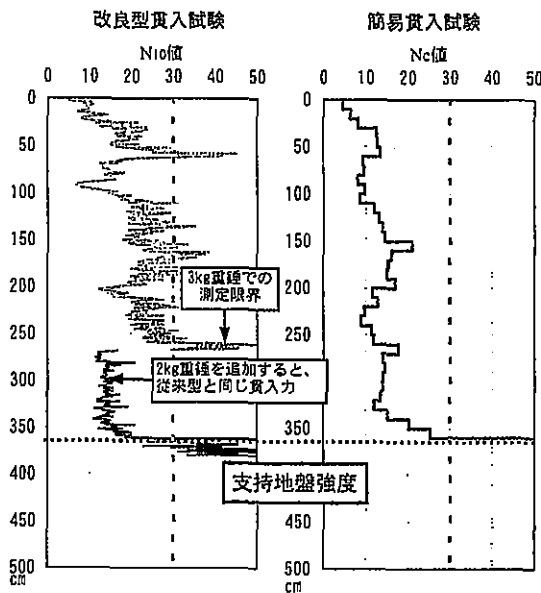


図4.2 基礎地盤深度推定の検証

### 4.3 表層崩壊面の予測

表層崩壊に関するこれまでの調査事例<sup>4), 6), 7), 8)</sup>をまとめると、概ね $N_c$ 値10~15を崩壊すべり面の境界としている例が多い。しかし、水文学的基盤が $N_c$ 値20に相当すること<sup>9)</sup>や、良好な根系発達基盤が $N_c$ 値5以下であること<sup>10)</sup>との関係なども考慮すると、どの数値で崩壊面の境界を引くかについて、現状では統一的な見解は得られていない。勿論、崩壊面が土層の硬さだけで決まる訳でなく、地質(土質)や植生等の違いが大きく影響するからであろうが、試験そのものの検出限界、精度も原因の一つになっているのではないかと考えられる。

従来の簡易貫入試験機は、軟らかい土層での分解能が低い。すなわち、貫入力が強すぎるために、根系が発達する $N_c$ 値5~10程度の軟らかい土層では硬さの違いが現れにくい。また、硬さを10cm毎に平均化した $N_c$ 値で表示するので、礫や根系の影響を

受けて全体的に高めの $N_c$ 値となり土層本来の硬さを評価し難い。

このような視点で、改良型による表層崩壊面の予測可能性について検討した。

仮に、崩壊すべり面の境界を $N_c$ 値10だとすれば、前項3で示した関係式「 $N_c$ 値= $0.5 \times N_{10}$ 値(改良型3kg)」より、改良型(3kg重錘)では $N_{10}$ 値20となる。

改良型 $N_{10}$ 値20という数値は、次項4.4で述べる根系発達との関係において、樹木根系の侵入が困難となる硬さに相当する。すなわち、崩壊に対して根系による杭効果・緊縛効果がなくなる土層の硬さに相当しており、崩壊すべり面の境界値として妥当と考えられる。

実際に、崩壊跡地において従来型と改良型で測定した結果を図4.3に示す。崩壊は、深さ350~400cm間にある灰色土の上部あたりで起こっているが、この土層の境界で改良型(重錘3kg)による $N_{10}$ 値は急激に変化し、測定不能となった。これに対し簡易貫入試験機では崩壊面前後において $N_c$ 値が漸増しているものの、改良型のような顕著な変化は見られなかった。

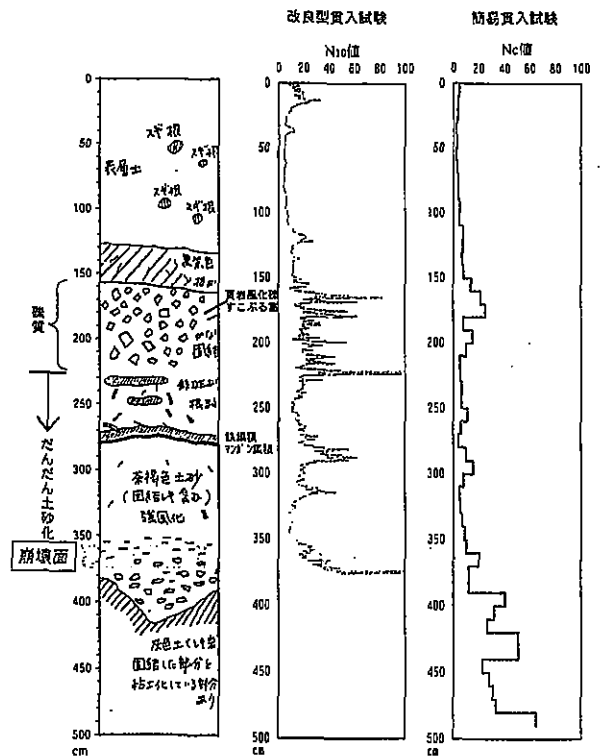


図4.3 崩壊跡地での貫入試験例

表4.1 各試験機のN<sub>10</sub>値と根系発達深度の関係

調査地	樹種	根の最大到達深		根の最大到達深における各試験機のN <sub>10</sub> 値		
		深さ cm	層位	簡易貫入	長谷川式	改良型 (3kg重錘)
滋賀県田上山 (マサ土)	アカマツ	155	C層	25以上	測定限界	測定限界
	コナラ	150	2C2層	5	15	15
	アカマツ	190	2C3層	5	30以上	20以上
農大厚木 (関東ローム)	コナラ	220	C層	10以上	20以上	20以上
	イヌシデ	200	BC層	10以上	20以上	20以上
農工大波丘地 (第四紀砂層)	コナラ	155	C層	15以上	20以上	20以上
	クヌギ	220≦	2C3層	20以上	測定限界	測定限界

4.4 樹木の根系分布と貫入抵抗値の関係

表4.1に、根系調査結果より読み取った根系が完全になくなる最大到達深と、それに対応する各試験機のN<sub>10</sub>値の関係をまとめた。

既往の試験・研究では

○Nc値5~6で根系直径合計割合5%以下<sup>11)</sup>

○長谷川式によるS値0.7以下(=N<sub>10</sub>値15)で多くの根が侵入困難<sup>12)</sup>

となっており、本調査結果はこれらの基準値に近似、またはやや高めの数値を示す傾向がある。

こうした既往の基準値をふまえて、今回の調査結果をまとめると、根系発達土層の硬さは次の通りとなる。

- ①従来型：N<sub>10</sub>値5~10以下とするが、バラツキが大きく不明瞭
- ②長谷川式：N<sub>10</sub>値15~20以下(20以下とする方が妥当)
- ③改良型：N<sub>10</sub>値15~20以下(20以下とする方が妥当、長谷川式とほぼ同等)

樹木根系分布とN<sub>10</sub>値の関係の代表的な例を図4.4に示す。

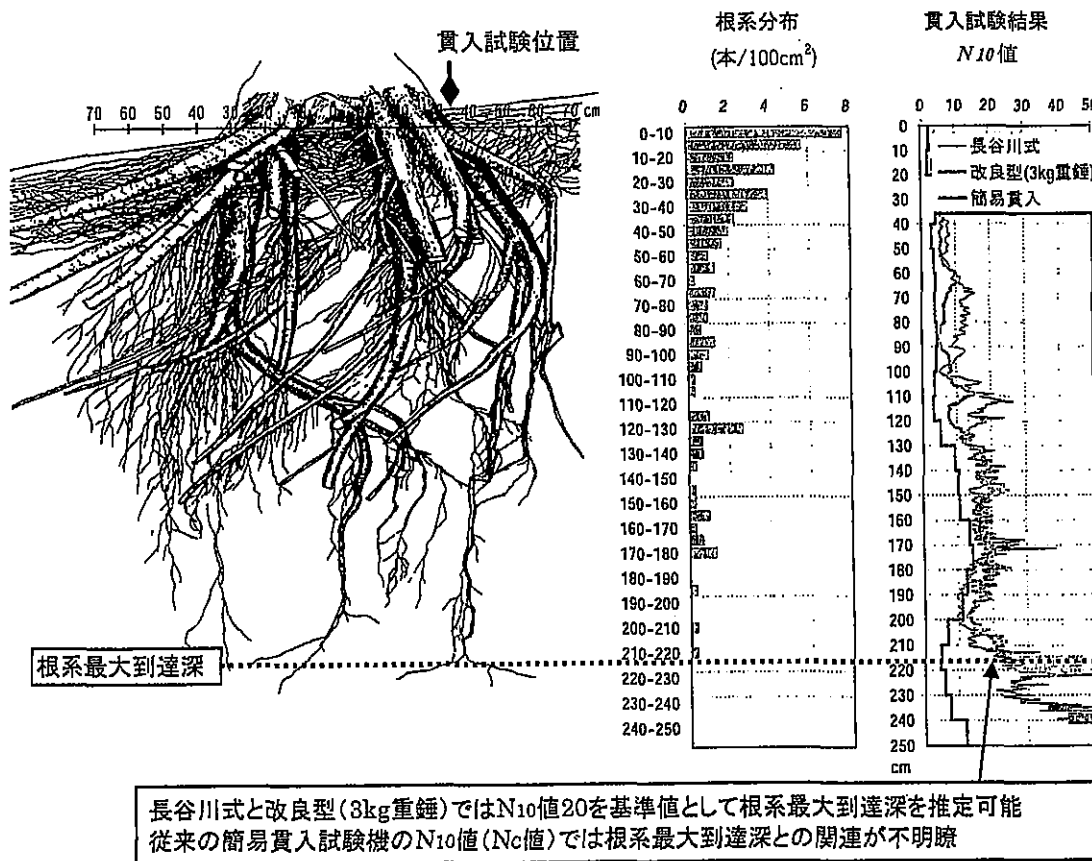


図4.4 貫入試験による根系発達状況の把握例(東京農業大学厚木キャンパス コナラ)



## 5. 今後の課題

本報では、従来型貫入試験機と同じ能力を持つ改良型簡易貫入試験機を開発したことを報告したが、今後対応すべき課題として以下の事項が挙げられる。

- ①改良型と従来型試験機との相関を確認するため、さらに測定データを蓄積し、その精度を高める。
- ②表層崩壊面の予測については、現段階では検証例がほとんど無いため、今後より多くの事例、特に崩壊跡地での調査数を増やし、貫入試験による崩壊面の推定精度を高める。
- ③根系分布と貫入抵抗値との関係において、貫入抵抗値の高い土層まで根系が発達する樹種が見られた（アカマツ、クヌギ）。これらの樹種の根は一般的に深根性かつ耐堅密性であるとされるが、その実態については既往の研究事例がないため不明である。今後こうした根系の樹種特性を把握し、崩壊との関連性について解明していく。
- ④作業の効率化のため、一打撃毎の貫入量を自動的に測定する装置を開発予定である。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり調査地の提供等ご協力いただいた、東京農業大学厚木キャンパス、東京農工大学FSセンターFM多摩丘陵、東京大学愛知演習林赤津研究林の関係者の皆様に、厚く御礼を申し上げます。

## 引用文献

- 1) 大久保駿・上坂利幸 (1971) : 簡易貫入試験機による地盤調査, 土木技術資料, 13 (2), 83-87
- 2) 大久保駿・上坂利幸・船崎昌継 (1971) : 簡易貫入試験機による地盤調査 (2) - 試験機の性能 -, 土木技術資料, 13 (8), 403-409
- 3) 福永健司・山寺喜成 (1988) : 土研式貫入計を用いた生育基盤厚の測定値に及ぼす土層中の礫の影響について, 第19回日本緑化工学会研究発表会研究発表要旨集, 32-35
- 4) 建設省河川局砂防部監修 (1998) : 新・斜面崩壊防止工事の設計と実例, (社) 全国治水砂防協会
- 5) 稲田倍穂 (1960) : スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について, 土と基礎, 8 (1),

13-18

- 6) 瀬尾克美・宮田衛 (1969) : 六甲山系における航空写真による流出土砂量算定と崩壊予想について, 直轄技術研究会
- 7) 日浦啓全・大手桂二・日置象一郎・村上公久 (1978) : 山地における土砂生産に関する研究 (I), 京都府立大学農学部演習林報告, 22, 36-53
- 8) 水山高久・小菅尉多 (1993) : 表層崩壊予測のための土層調査例, 新砂防, 46 (1), 38-40
- 9) 太田猛彦 (1988) : 森林山地斜面における雨水の流出について, 水文・水資源学会誌, 1 (1), 75-82
- 10) 山寺喜成・塚本良則・太田猛彦・福永健司 (1986) : 切取法面跡地等裸地の植生復元に関する研究 (Ⅲ) : 道路緑化保全協会, 145-146
- 11) 福永健司・山寺喜成 (1992) : 樹木の地上部生育に関わる有効土層厚の推定方法と根系伸長の実態, 第23回日本緑化工学会研究発表会研究発表要旨集, 90-93
- 12) 建設省土木研究所 (1995) : 植栽基盤造成技術に関する共同研究報告書

## 斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機について

(財)砂防・地すべり技術センター 吉松弘行 ○川満一史  
(株)総合防災システム研究所 瀬尾克美  
ジオグリーンテック(株) 長谷川秀三 村中重仁

### 1. はじめに

斜面調査用の簡易貫入試験機(従来型と称す)は、地表下5m程度以浅における地盤の構造を簡易的に把握するために優れた装置である。しかし、表層崩壊防止効果があると考えられる樹木根系の発達状況や、表層1~2m深における微妙な構造の把握については、その5kg重錘による貫入力の高さより、詳細に把握できない傾向がある。一方、根系発達深度等、表層付近の微妙な構造の把握を目的として、重錘2kgの長谷川式土壌貫入計(長谷川式と称す)が開発されているが、ロッドの周面摩擦等の影響や貫入力の不足により、地表下2m程度位深の測定が困難等の問題がある。

そこで、上記両試験機の欠点を補い、かつ両試験機の探查能力を兼ね備えた斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機(改良型と称す)を開発した。そして、現地測定を行い改良型の特性・現地適用性を検討したので報告する。

### 2. 改良型簡易貫入試験機の構造について

改良型では、①重錘を3kgと2kgに分割し着脱可能な構造とし、3kg重錘による測定では、長谷川式と同等の分解能・貫入力で浅い深度における地下構造を詳細に把握できるものとし、さらに2kg重錘を追加することにより、従来型と同等の測定能力を確保し、基礎地盤深度等の推定を可能とした。②試験機先端のコーン径は従来型と同じ(φ25mm)とし、コーン径の小さい長谷川式(φ

20mm)における周面摩擦の問題を改善して深部まで測定可能とした。③試験機本体と平行に目盛りのついたガイドポールを取り付けた。これにより、一打撃毎の貫入深度を読みとることができ、より詳細な解析が可能とした。④従来型に比べ、破損しにくい材質・構造とした。

表1 各試験機の構造

	改良型	従来型 (簡易貫入試験機)	長谷川式
先端コーン径	φ25mm	φ25mm	φ20mm
貫入ロッド径	φ16mm	φ16mm	φ16mm
重錘	3kg+2kg(着脱式)	5kg	2kg
材質(重錘除く)	SUS304	S45C SUS416	SUS304
測定方法	一打撃毎の貫入量を測定	10cm貫入毎の打撃回数(Nc値)を測定	一打撃毎の貫入量を測定

### 3. 調査内容および方法

花崗岩風化層(滋賀県大津市、愛知県瀬戸市)、関東ローム層(神奈川県厚木市、東京都八王子市)、第四紀砂層(東京都八王子市)を対象土質とし、従来型、長谷川式、改良型を用いて同じ地点・土層における貫入抵抗値を測定し、各試験機の貫入力の相互比較を行った(調査1)。また貫入試験を実施した箇所の樹木根系の発達状況を調査し、貫入抵抗値と根系発達との関係を解析した(調査2)。実際の崩壊跡地現場(静岡県春野町)における貫入試験結果より、表層崩壊面把握に対する有効性を検証した(調査3)。

### 4. 調査結果

調査1の測定結果は10cm貫入するのに要する打撃回数で表示した。重錘を3kgとした時の改良型の貫入抵抗値をNc'値とすると、従来型の貫入抵抗値(Nc値)、長谷川式の貫入抵抗値(Nh値)との間には、 $Nc=0.51 \times Nc'$ 、 $Nh=1.04 \times Nc'$ の関係式が得られた(図1)。

なお、改良型の重錘を5kg(3kg重錘に2kg重錘を追加)とした時は、従来型と同じ構造になるため、測定値はNc値で表示される。

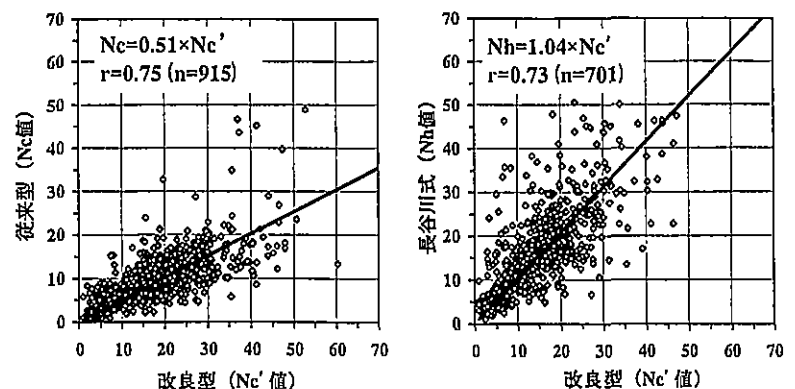


図1 各試験機の貫入抵抗値の関係

調査2により、種々の樹木根系（コナラ等）と貫入抵抗値の関係を解析した結果、根系発達深度はNc'値15~20以下という値が得られた（図2）。これは根系発達との関係が明らかにされている長谷川式のNh値でも同じ結果であった。一方、従来型と根系発達深度の関係はNc値5~10以下という値が得られたが、図2に見られるように、貫入力（kg）の強さによりバラツキも大きく、その関係は不明瞭であった。

調査3の結果を図3に示す。崩壊は深さ350~400cm間にある灰色土の上部あたりで起こっているが、この土層の境界で改良型のNc'値は急激に変化し、測定不能となった。これに対し従来型では崩壊面前後においてNc値が漸増しているものの、Nc'値のような顕著な変化は見られなかった。このように、重錘を3kgとした改良型では、表層崩壊面の推定可能性が示唆された。

この他、調査1~3の結果より改良型の特性として次のことが確認された。基礎地盤深度等、3kg重錘による測定が困難な土層域においては、2kg重錘を追加することにより従来型と同等の貫入力（kg）が得られ測定可能となった。また、10cm深毎にNc値を測定・表示していた従来型に対し、改良型では一打撃毎の貫入抵抗値を測定・表示するため、土壌本来の硬さと礫や根系にぶつかった時の貫入抵抗値が分離可能になるなど、より詳細な土層構造を把握できるようになった。

### 5. おわりに

本報では、従来型と長谷川式の能力を併せ持つ斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機を開発し、その基本的特性を把握したが、今後は①本試験機と既存試験機との相関を確認するため、測定データを増やし、精度を高める。②根系調査データを含め、崩壊跡地での測定データを増やし、貫入試験による崩壊発生深度の推定精度を高める。③試験機（材質・着脱可能重錘）の耐久性について検証を行う。④一打撃毎の貫入量を自動的に測定する装置を開発する。

最後に、本研究を行うにあたり調査地の提供等ご協力いただいた、東京農業大学厚木キャンパス、東京農工大学FSセンターFM多摩丘陵、東京大学愛知演習林、静岡県砂防課の関係者の皆様に、厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 大久保駿・上坂利幸(1971)：簡易貫入試験機による地盤調査，土木技術資料，13(2)，83-87
- 2) 大久保駿・上坂利幸・船崎昌継(1971)：簡易貫入試験機による地盤調査(2)一試験機の性能一，土木技術資料，13(8)，403-409
- 3) 建設省土木研究所(1995)：植栽基礎造成技術に関する共同研究報告書

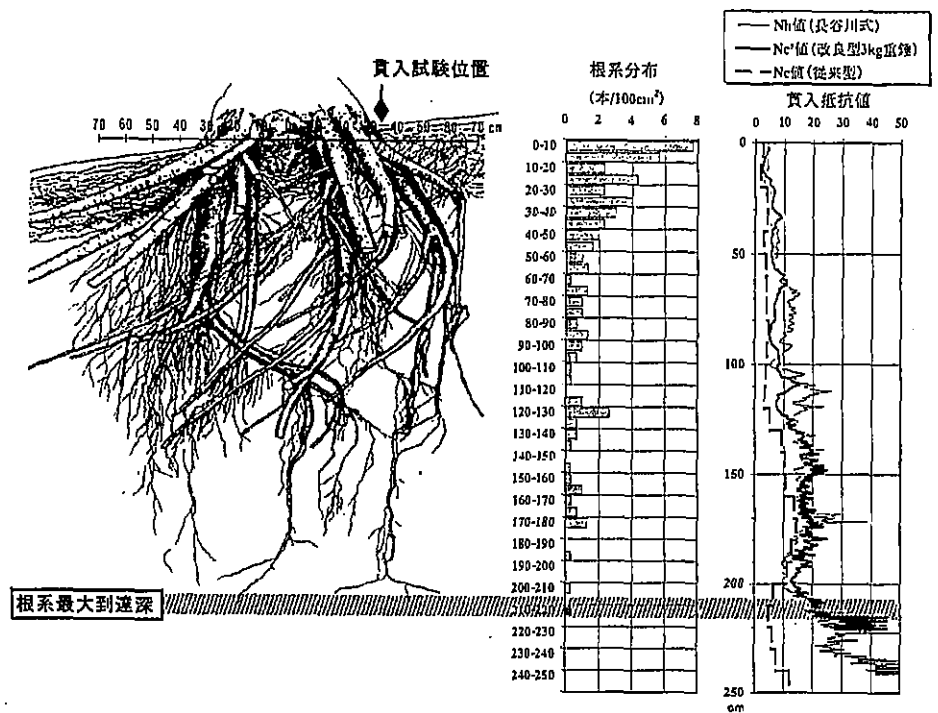


図2 各試験機の貫入抵抗値と根系発達状況の関係  
(調査木：H14m コナラ， 土質：関東ローム層)

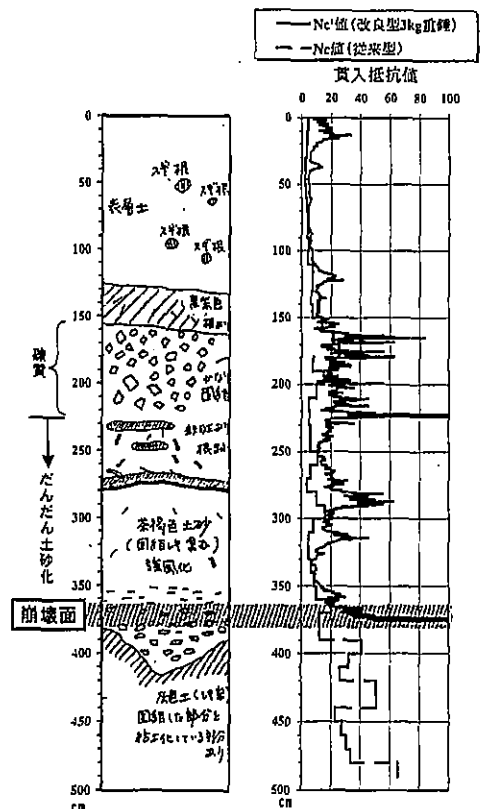
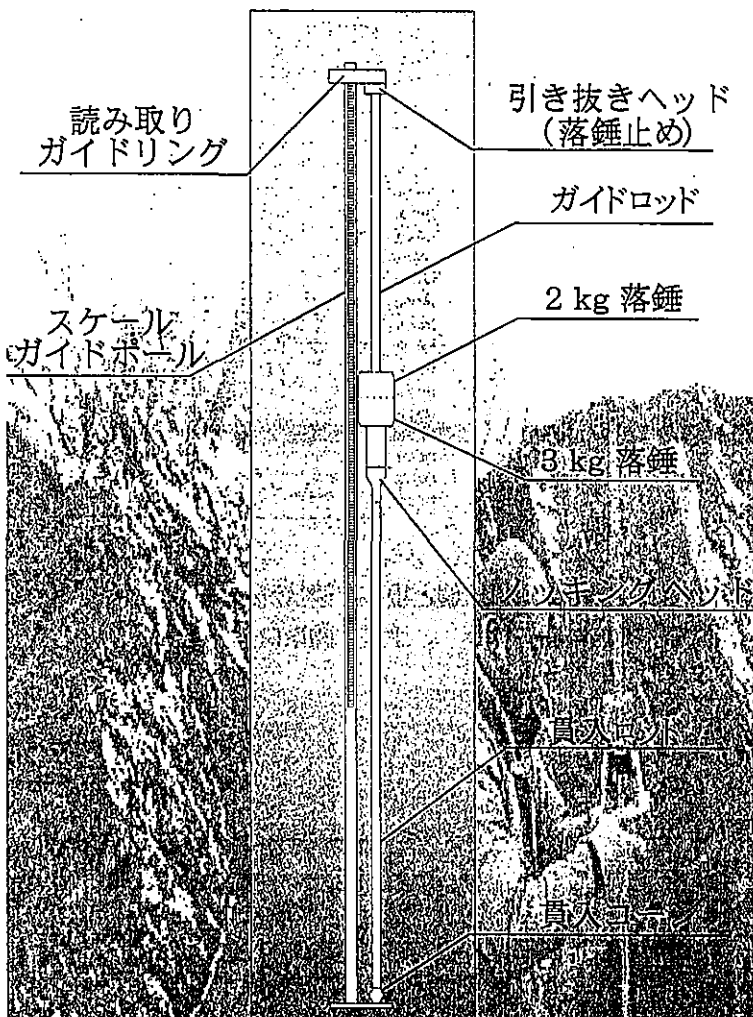
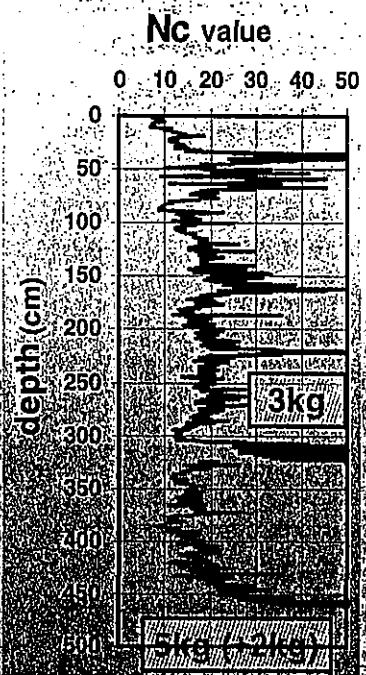


図3 崩壊跡地での貫入試験結果

# (仮称) SH型簡易貫入試験機 (斜面表層用)



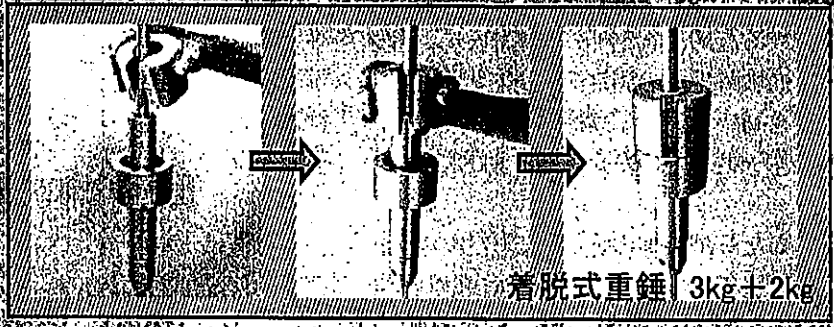
■ 試験機全体図



■ 測定結果の一例

## ■ SH型簡易貫入試験機 (斜面表層用) 仕様

寸法 (組立時)	全長 2000、120×120mm
寸法及び重量 (分解時)	全長 2000mm、重量 約 10kg
寸法及び重量 (分解時)	全長 2000mm、重量 約 10kg
貫入ロッド径	φ20mm (標準) / φ25mm (選別)
落錘重量	2kg / 3kg (選別)
貫入ロッド径	φ20mm
読み取り精度	±1mm
最大測定深	500mm (最大)
適用土質	軟弱土質 (標準)



開発  
 ■ 財団法人 砂防・地すべり技術センター  
 ■ シオグリーンテック 株式会社

販売元  
 ■ 大トウテックグリーン 株式会社  
 〒194-0013  
 東京都町田市原町田 1-2-1 番 3 号  
 TEL: 042-721-1708 FAX: 042-721-0944  
 URL: <http://www.daitoug.co.jp>  
 E-mail: [info@daitoug.co.jp](mailto:info@daitoug.co.jp)

京都大学農学研究科 ○小杉賢一朗・堤 大三・藤野貴之・水山高久  
 ジオグリーンテック株式会社 長谷川秀三

1. はじめに

山地斜面土層内の土壌水分空間分布を知ることは、崩壊に対する斜面の安全性の評価や、斜面緑化の為の土壌環境評価を行う上で、極めて重要となる。特定の斜面における土壌水分分布の時系列を知るためには、テンシオメータや土壌水分計を設置すれば良いが、利用できるセンサーの数によって空間的な分解能が規定されてしまう上、測器の設置に時間と手間がかかることから、機動性を重視した使用には適さない。一方、最も標準的な秤量法による土壌水分計測では、不攪乱土壌を土壌断面掘削やオーガーを用いて採取せねばならず、効率が悪い。これに代わる手法として、電気探査等による地表面からの非接触計測技術の向上が望まれるが、非接触であるがために土壌水分以外の要因が計測値に大きく影響してしまい、キャリブレーション方法の確立が容易でない。このような背景のもと、筆者らは水分計付貫入試験機を開発し、そのキャリブレーション結果と山地斜面への適用例について昨年度の砂防学会で報告した。ここでは、現位置試験の事例を増やし、各種気象条件下における林地斜面の土壌水分空間分布の計測を行った結果について報告する。

2. 方法

貫入試験機(長谷川式土壌貫入計)の貫入ロッドの先端にアクリル管(長さ70mm, 外径18mm, 内径14mm)を取り付けた(図-1)。このアクリル管には、2本のステンレスワイヤ(長さ200mm, 直径0.3mm)が互いに交差しないようにコイル状に幅22mm(図-1の矢印の範囲)で巻かれており、この部分がTDRプローブとして周囲の土壌水分を感知する。ステンレスワイヤの貫入試験機先端側の端は、貫入ロッド内部に通された同軸ケーブル(50Ω)に半田づけされ、さらに同軸ケーブルは貫入ロッドの地上部の端から取り出されてTDI式土壌水分計本体(Campbell社製, TDR100)に接続されている。TDR式土壌水分計では、水の比誘電率(80)が土粒子(3.5)や空気(1)に比べて格段に大きいことを利用して、土壌の比誘電率 $\kappa$ を計測することにより体積含水率 $\theta$ を求めている。

滋賀県南部に位置する田上山系の風化花崗岩を母材とする森林斜面(斜面長約30m)において、水分計付貫入試験機を用いた土壌水分計測試験を行った。計測日は2002年1月17日, 9月4日, 2003年3月4日, 9月4日は夏期の乾燥期, 3月4日は降雨直後の湿潤条件下での計測である。いずれの計測日についても、斜面上部から谷底部にかけての4~8地点において貫入深2cm毎に土壌水分の計測を行った。また打撃回数と貫入深を連続的に記録して、土壌の柔らかさの指標である $s$ 値(一回の打撃による貫入深)の鉛直変化を求めた。計測終了後、同地点で不攪乱土壌サンプル(100cm<sup>3</sup>)を採取し、実験室に持ち帰って秤量法によって体積含水率を計測した。

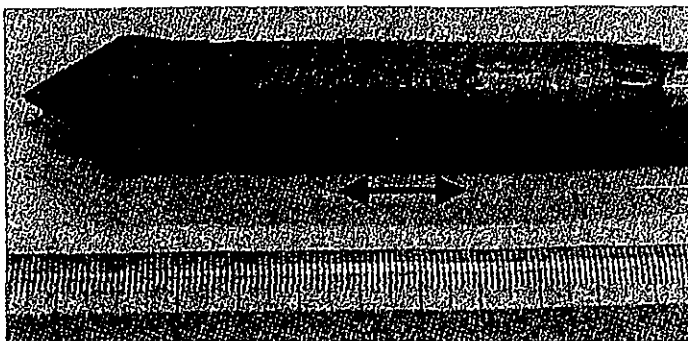


図-1 貫入試験機先端に取り付けたコイル型 TDR プローブ (矢印部)

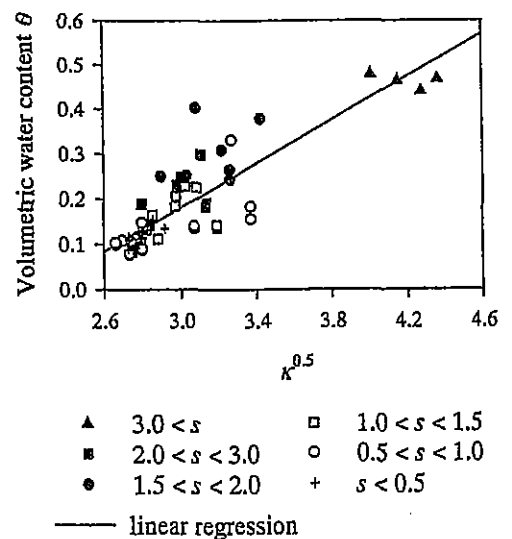


図-2 体積含水率 $\theta$ -比誘電率 $\kappa$ 関係 ( $s$ 値の単位はcm/drop)



### 3. 結果

計測された比誘電率  $\kappa$  の平方根と体積含水率  $\theta$  の間には、おおむね次の直線で表される関係が検出された (図-2)。

$$\theta = 0.243 \kappa^{0.5} - 0.547 \quad (\text{Model 1})$$

しかしながら中程度の含水率 (0.15~0.4) では、直線から大きく外れるケースも見られた。各データを  $s$  値で区分したところ、 $s$  値が小さい場合は回帰線の下側に、 $s$  値が大きい場合には回帰線の上側にプロットされる傾向が検出された。この原因として、 $s$  値が大きい柔らかな土壌ほど、貫入試験の際にコイル状の水分感知部と周囲の土壌との間に隙間を生じやすいことが考えられる。そこで、 $\kappa$  と  $s$  値より  $\theta$  を推定する次のモデル (Model 2) を導出した。

$$\begin{aligned} \theta &= (0.243 \kappa^{0.5} - 0.547) (0.288 s + 0.674) & s \leq 1.87 \\ \theta &= (0.243 \kappa^{0.5} - 0.547) (-0.031 s + 1.262) & s > 1.87 \end{aligned}$$

Model 1 による決定係数 ( $R^2$ ) が 0.74 であるのに対し、 $\kappa$  と  $s$  による回帰モデル (Model 2) では  $R^2$  が 0.84 となり、 $\theta$  の推定精度が向上していることがわかる (図-3)。

図-4 には、Model 1, 2 により推定された、各測定日・各斜面位置の含水率鉛直分布を、実測値と共に示した。実測含水率は、2002年1月17日には谷底部 (Bottom) の下層を除いて低い値となっている。また、2002年9月4日の含水率は斜面全体で低く、これに比べて2003年3月4日の含水率は5~15%増加している。貫入試験結果から求めた含水率の分布は、実測値の傾向を再現していること、Model 1 に比べて Model 2 の推定精度が向上していることがわかる。

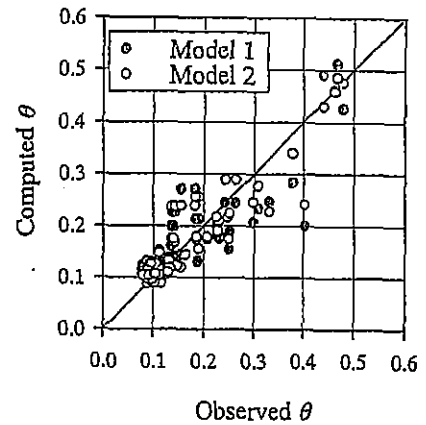


図-3 回帰モデル1および2による体積含水率計算値の実測値との比較

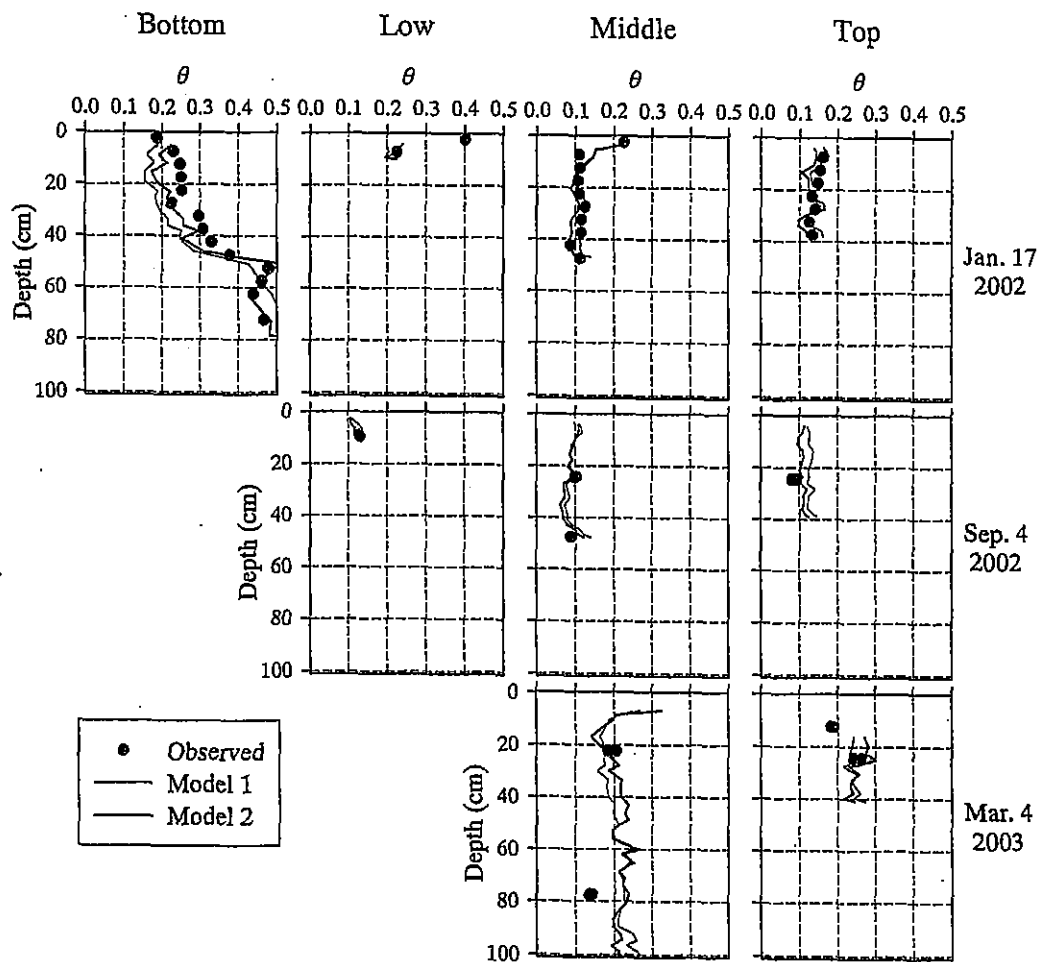


図-4 体積含水率の鉛直分布の実測値 (秤量法) と貫入試験機による推定値の比較

### 4. まとめ

水分計付貫入試験機を用いることで、斜面土層の土壤水分空間分布が効率的に計測できることがわかった。含水率の計測精度を向上させるには、TDR による比誘電率の計測値に加え、貫入抵抗値 (またはその逆数である  $s$  値) を回帰モデルの説明変数に加えることが有効であることが示された。



## 「現場技術者から見た切土法面に対する『自然回復』の問題点」 －植物材料と工法選定に関わる諸問題－

ライト工業(株) 開発部  
中野 裕司

### ●目次●

#### はじめに ー話題提供の前提ー

(問題の所在を明らかにし、討論・討議しよう)

#### 1. 法面緑化工法・導入植物の歴史的変遷

##### 1.1 客土・種子散布工

ー急速緑化・侵食防止・外来牧草の時代ー

##### 1.2 厚層基材吹付工法・景観・在来草本類・ハギ類の時代

1) 厚層基材吹付工法・前期：牧草による急速緑化より  
在来草本類への移行

ー在来植物 夏場の景観対策の時代ー

2) 厚層基材吹付工法・後期

ーハギ類の時代 緑のボリュームアップー

##### 1.3 遅速緑化・郷土種・種の多様性(・遺伝子)の時代

ー平成の緑革命ー

#### 2. 郷土種・自然など言葉(用語)の工学的定義付けの必要性

##### 2.1 「郷土種」の定義

ー植物材料として具体的な定義の必要性ー

1) 郷土種の定義

2) 「郷土種」定義の必要性

3) 「郷土種」の生産・流通体制の整備

ー誰がやるのかー

##### 2.2 回復・復元する「自然」とは何か?

ーどのような種類の組み合わせを「自然」と称するのかー

#### 3. 自然の多様性と土木的均一性との折り合いをいかに調整するか

##### 3.1 樹林化工法の多様化

##### 3.2 土木的均一と自然の多様性

1) 植物生育基盤のランダム造成

2) ランダム切土、ランダム植付け

#### 4. 「自然回復・復元」工法の適用区分

ーすべての法面に「自然回復・復元」を適用するのかー

おわりに 自然回復・復元工学の構築

ー自然回復に緑化学がどのように関与できるのかー

参考・引用文献

#### はじめに ー話題提供の前提ー

(問題の所在を明らかにし、討論・討議しよう)

#### ※ まとめ

切土法面に対する「自然の回復・復元」についての諸問題について話題提供を行う前提として、法面緑化工法の歴史的経緯を踏まえ、その整理を行いつつ、今後の方向性について議論・討議を進めていくことが必要と考え、機械化施工による法面緑化工の歴史的経過を敷衍し、その後問題提起を行うこととした。

問題提起とは、「自然の回復・復元」を行おうとするとき、現状の緑化技術の基本となる「急速緑化工法」の延長線上で「自然の回復・復元」は可能かという疑問であり、物を造る立場に立った工学的な定義付け・ルール化がなされていないということであり、このためには「自然」の本質を解明し、現状の生態学で解明されている事項を、工学的に実行可能な状態に読み替え・通訳を行い、マニュアル・仕様の作成を押し進めることと考える。

平成4年ブラジルのリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際会議(地球サミット)」において地球規模の環境問題について討議され、「環境保全と開発を統合しバランスを取り、持続的な開発を図る」というスローガンが「リオ宣言」採択事項となり、我が国はこれに伴う国際条約の批准国としての義務を負うこととなった。これにより、国政レベルで環境問題に積極的に取り組むことが求められ、トップダウンの指示により、環境関連施策が大きく変化した。

このような動きを受け環境庁では、「環境基本法」、「環境アセス」、「生物多様性国家戦略」などが策定され、土木行政は環境へ配慮した工事を行う方向へ大きくシフトし「緑の政策大綱」が示され、道路行政では「第11次五カ年計画」で法面の緑化が始めて取り上げられ「再緑化」という方向が示され、第12次五カ年計画では「エコロジカルネットワーク」が施策として示された。

法面を緑化し緑の景観を回復するのみならず、「自然の回復・復元」を求められ、動植物を含めた「生き物社会」全体の保全・回復が求められる、という方向が示されたわけである。

このような世の「流行」により、これまで法面緑化に無関心であった様々な人々が法面緑化に関し提言を行うようになり、切土法面の「自然の回復・復元」に対し統一の見解を整理し示すことができず、混乱を生じるも

ととなっている感がある。

このような現象は、切土法面の立地環境の特殊性、あるいは切土法面に対する緑化工法の特異性に関する理解を得られないまま、それぞれの分野の専門知識の枠内で「物語」を造っていることにより生じている齟齬と考えられる。

また、法面分野においてはトップダウンの形で政策的に「自然の回復・復元」を求められたことより、施策と実施レベルの乖離・温度差が発生し、話しとしてはわかるが具体的な手法に結びつけることができず、試行錯誤の状態となっているということが実体と考えられる。

このような実体を打破するためには、切土法面の「自然回復・復元」を行う様々なレベル、すなわち計画・設計・施工・検査に至る一連の流れの中にいる人々が、物を造るという共通の観点に立ち工学的に相互理解可能な言葉(定義)・ルールで取り組むことが必要と考える。

「自然の回復・復元」という言葉一つをとってみても、その立場立場で抱くイメージが大きく異なるものである。同じ言葉を用いてもイメージ・暗黙の前提条件が異なるとなると、できあがるものは全く異なったものになることは想像に難くない。物を造る工学的な立場に立った定義付けを行わないと、言葉遊びに偏してしまう危険性をもっている。

このような状況を解決するためには、現在までの法面緑化工の歴史・取り組みを理解した上で、新たな取り組み・枠組み、ガイドラインの設定についての討議・検討が必要と考える。

特に、発芽・成長の速い収草により急速に法面を緑化・被覆するという「急速緑化工法」の与えた影響は大きく、この法面緑化のイメージ・原型(プロトタイプ)を払拭することがない限り、「自然の回復・復元」は困難なものであると考える。

以上の前提により、当レポートは法面緑化工法の歴史的展開を俯瞰し、車の両輪ともいえる導入植物の問題に触れ、「土木的均一性」と「自然の多様性」について「緑化学」としてどのように考え、対応すべきかについての問題提起を行うこととした。

ここで、もう一つ的前提条件として上げておかなければならないことは、切土法面の緑化工法は、土木工事の一貫であるという点である。

ともすれば、法面の「自然回復・復元」が大上段に語られ、自然植生に近似した植物＝木本類で法面を覆えばそれで目的を達したとしたり、植物の根系のみにより法面の安定を図ることができるという飛躍した話しとなりかねない。

自然がそうなっているから、法面もそうだというアナロジカルな話である。しかし、切土法面の造成はそもそもが不自然な行為であり周辺自然をそのまま持ち込むわけにはいかない。

緑化、自然の回復・復元を行う法面は、法面自体が自

立安定していることが大前提となる。これが、不安定ならば、切り直すか、土木的抑止工を実施した後、緑化、「自然の回復・復元」を実施することとなる。木本類といえども、植物の根系はその侵入限界を超えた硬質な岩盤地山にまで侵入するものではなく、かろうじて割れ目にとりつく程度である。自然の急勾配硬質岩盤斜面では、割れ目に根系を侵入させとりついた樹木が、周辺の風化土塊を抱え込んだ状態で地山にぶら下がっていることが観察できる。急勾配硬質斜面では、地山に植物がとりつき・ぶら下がっているのであって、植物により斜面の安定が図られているとは言えないのである。

緑化工技術の面より言う植物による法面の安定とは、あくまでも表層の風化土層を根系により緊縛する、あるいは根系とともにぶら下がっていることによる安定であり、急勾配法面では風化土層が限界厚を越えるならば樹木を含む土塊が自重で崩落することとなる。従って、植物による法面安定効果は、若齢林に対し期待できるものの、老齢林では不安定因子と化するものであり、「自然の回復・復元」という長期の視点に立つならば、このような事態の発生まで視野に入れた土工計画・法面安定工の併用・植生管理についてまで考えていくことが必要となる。

また、さらなる大前提として、直接施工に携るものにとって最も重要・深刻な問題であるが、切土法面に対する「自然回復・復元」は、果たして「生業」として成り立つのか、という素朴な疑問がある。

安くして速い法面保護工として発達してきた法面緑化工法であるが、現状のコスト削減の流れの中で、むしろコストを引き上げる方向での「自然回復・復元」工法が発注サイドよりどこまで認められるかが疑問である。

「自然の回復・復元」を行うためには、「早期樹林化」といった自然の回復時間の短縮を図ることも必要ではあるが、現状の技術とは発想を変え自然の回復過程を阻害しないための工夫・技術が要求されるものと考えられる。このような技術は、目に見えない様々な工夫・技術的対応が求められ労の多いものとなるものと推定できるが、現状の積算体系ではこのような技術経費を認める形にはなっていない。目に見えない、積算のまな板に上がりにくい技術的対応を何らかの形でフォローするシステムを構築しないと、適正な利潤を得ることができず「自然の回復・復元」は「生業」としては成り立たず、技術の発展も望めないことになってしまう。

植物材料の面でも、その土地に生育する厳密な意味での「郷土種」を用いようとするならば、様々な経済要因について解決を図っていくことが必要であり、同様なことが言える。

以上に示したように、端に切土法面に対する「自然の回復・復元」と言っても、様々なレベルにわたる複雑に関連しあった問題を挙げるができる。これらの纏れ合った諸問題の一つずつ明確にし、糸口を見つけその対

応について取り組まなければ、「自然の回復・復元」はかけ声だけに終始し、似て非なるものを造り出すことになる可能性が高いものと言える。

当レポートは、このような輻輳した諸問題の一端について示し、議論の糸口を引き出そうとする試みであり、このため極論とも受け取れる表現を行った。この点についてご理解・ご寛恕いただき、議論が大きく広がり「自然の回復・復元」工法確立の端緒となるならば幸甚である。

## 1. 法面緑化工法・導入植物の歴史的変遷

### 1.1 客土・種子散布工

#### －急速緑化・侵食防止・外来牧草の時代－

##### ※ まとめ

- ・戦後：  
ブルドーザなど土木機械の導入による機械化施工が始まり土工の規模が大型化→安価で効率的な法面保護工が求められる。
- ・昭和 33 年：  
モルタルガンによる吹付播種工（種吹付工）開発
- ・昭和 35 年：  
ハイドロシーダーによる種（子）散布工導入
- ・昭和 40 年代：  
ミニクリート（客土吹付）工法開発
- ・以降昭和 50 年代半ばまで：  
牧草による法面の急速緑化が主流。この時期に法面緑化工のイメージが形成され刷り込み・原型となる。また、現行の法面緑化工の標準仕様・マニュアルの基本が確立し、以降この仕様・ルールが基礎となり法面緑化工の設計・施工・検査に至るまで大きな影響を与え続けている。

戦後土木機械の導入により、大規模法面が造成されはじめ安価で早急な法面保護・侵食防止工が求められたことにより機械化施工が検討され、昭和 33 年にモルタルガンによる吹付播種工が開発され、ついで昭和 35 年にハイドロシーダーによる種子散布工が実施された。

これにより、発芽が斉一で成長の速い外来牧草により法面を急速に緑化・被覆を図り法面の侵食防止を行う「急速法面緑化工」の時代の幕が切って落とされた。

しかしそこには、自然に復す、すなわち最初は発芽が均一で成長の速い外来牧草を用いて急速に法面全面を緑化・被覆しても、次第に周辺植生の侵入が始まり植生遷移により周辺自然植生（ここでは二次林も含む広い意味での自然とする）になじみ・同化していくという強靱な自然の復元力に期待する古典的<sup>7</sup>なものの考え方があった。

事実、昭和 30 年代に実施された名神・東名高速道路の切土法面の場合、当初牧草により被覆した箇所も施

工後約 10 年で風散布によるアカマツ、ヤシャブシなどの先駆木本類が定着・生育し、約 30 年後には鳥散布種子により周辺アカマツ林に近似した林床低木が形成され始めている、との指摘がある。これは、牧草により法面の保護・侵食防止を行った後、風化表土の形成、種子の侵入・定着という自然の治癒力が作用し植生が推移し、周辺自然植生への同化が始まったためと解釈できる。

昭和 30 年代に始まる法面緑化工法は、比較的軟質な法面の侵食防止＝防災を目的としたため、発芽が一斉で成長の速い牧草を用いた。いわゆる「急速緑化工法」と称されている。発芽・成長の速い牧草により急速に法面を被覆することにより、法面の侵食を防ぎガリーの発生を抑制し法面の保護を図ろうとしたものである。

安価で施工効率のよい工法であったため、その適用範囲は拡大し、やがて牧草の根系侵入限界を超える硬質土箇所にもまで用いられるようになり、風化した土層が牧草ごと剥落する現象が発生した。これにより、牧草の根系緊縛力は弱いという議論が始まった（牧草の適用限界を超えた使用方法にも関わらず、牧草の責任とする論法には牧草は憤慨しているものと思うが）。

これに対する解決策として、昭和 40 年代に林業試験場において岩川らによって播種による木本類の混播技術の開発が始まった。これは、木本類の根系は比較的硬質な地山に対しても侵入可能なことに着目したものであり、木本類の根系緊縛力により吹付造成した植物生育基盤を地山に保持し一体化し剥落を防ごうとするものであった。しかしその当時は、発芽が不均一で初期成長の遅い木本類が定着するまで植物生育基盤を保持することのできる、耐侵食性に優れた工法が存在せず播種による木本類導入技術は定着することなく終わった。

これに代わり、植生ネットや金網張工を緑化基礎工として併用する方向へ改善が進み、風化土層ごと牧草が剥落するという現象に歯止めをかけることが可能となり、牧草の天下は引き続き持続することとなった。

以後、昭和 50 年代半ばまで外来牧草による急速緑化により法面の保護・侵食防止が行われることとなり、法面緑化工のイメージ・ルール（仕様）が形作られた。

この時代に形成されたイメージ・ルールが、現在でも刷り込み・原型となって色濃く残っている。

法面緑化工の世界で「自然の回復・復元」について語られてから幾久しいものがある。安くて手堅な法面保護＝侵食防止工法として、土木の一分野として始まった法面緑化工法ではあるが、「緑・植物」を導入し法面を緑化・被覆するという点で、やがて自然に復していくことを大前提とするものの考え方があった。名神・東名高速道路法面の自然回復過程を見るならば、このようなものの考え方は自然で正鵠を得たものであった。

しかし、時が経て法面緑化に期待する中身、及び工法が変化したにも関わらず、このような古典的な自然回復過程を辿るものと考え続けたことに問題の根元があった

ものとも考えられる。

名神・東名の例でわかるように法面緑化は「生き物」である植物材料を用いるものであり、その評価には 10～20 年以上の歳月が必要であり、いかんともしがたいものがあることも事実である。

この点より考えるならば現行の法面緑化工に対する評価は早急すぎるとも言える。目先の緑化・被覆に対する短期の評価とともに、自然の推移・治癒力までも見通した長期的な観点に立った計画の立案・設計・施工・モニタリングまでも含めた一貫した技術体系の評価が必要と考える。

## 1.2 厚層基材吹付工法・景観・在来草本類・ハギ類の時代

### 1) 厚層基材吹付工法・前期：牧草による急速緑化より在来草本類への移行

－在来植物 夏場の景観対策の時代－

※まとめ

- ・昭和 49 年：厚層客土(基材)吹付工法の開発
- ・昭和 50 年：吹付砕工の開発
- ・昭和 51 年：フリーフレーム協会設立
- ・昭和 50 年代前半：  
厚層客土(基材)吹付工法・吹付砕工の開発・改良
- ・昭和 54 年：

「郷土植物導入に関する実験的研究(道路緑化保全協会)」発行。昭和 51 年より三カ年計画で実施した研究の成果品。「緑化工技術の原点は自然保護であり、その指向するところは生態系の復元にある」と喝破す。

・昭和 50 年代中頃：

厚層客土(基材)吹付工法・吹付砕工法の採用例が増す。景観に対する配慮より、モルタル・コンクリート吹付工法に替わり岩盤法面への適用が増え始める。このため厚層基材吹付工法は岩盤緑化工法とも称した。高度成長による公害・環境問題の発生と生活の豊かさが法面の景観整備へと波及した。当初は牧草を主とする急速緑化を行ったが、冬草型牧草は夏に出穂・休眠・黄化し景観が不良となるため、次第に夏草型の在来草本類が多用されるようになった。

団粒化客土吹付工法が開発される。

・昭和 56 年末：

ヨモギが在庫を尽き、年度末には入手不能となった。→韓国・中国へと採種場の転移を加速させた。次第にヤマハギ・イタチハギの導入が増えていく。

・昭和 57 年：

「自然公園における法面緑化基準の解説」環境庁監修発刊。昭和 52～54 年の三カ年、全国自然公園内法面を調査し、技術基準を定めた。「郷土植物」を定義。

・昭和 59 年：

有機質系厚層基材吹付工法の普及のため、専門業者により「日本岩盤緑化工協会」が設立される。「有機質系

吹付岩盤緑化工法 技術資料」刊行。ヨモギ、イタドリ、ススキ、メドハギ、ヤマハギを「郷土種」として示した(平成 11 年に在来種と変更した)。ついで昭和 61 年に「岩盤緑化工 岩盤調査・植生追跡調査 調査要領」発行。植生遷移により森林へ復元することを前提として植物社会学的な調査方法を採用し追跡調査を実施した。

・昭和 60 年代：

厚層基材吹付工法が法面緑化工法の主流として位置づけられる。厚層基材吹付工法は、砂質系と有機質系があったが、確実性より有機質系が一般化される。これに伴い、厚層客土吹付工法より有機質系人工土壌を用いる厚層基材吹付工法へと改称される。

切土法面緑化に対する要求が次第に高度化するに従い、法面緑化工法は一変した。

硬質な岩盤切土法面は、「モルタル・コンクリート吹付工法」により被覆し風化を抑制し、侵食防止により法面保護を行うことが基本であったが、昭和 30～40 年代に発生した公害問題に端を発する自然保護運動により、住民の環境意識の高まり、また、次第に豊かな社会が形成されてきたという時代背景と相まって、このような部位まで景観的な配慮より緑化が求められる時代となった。このような動きが具体的になったのは昭和 50 年代半ばであり、厚層基材吹付工法・吹付砕工法の急速な拡大がそれである。

昭和 49 年には「岩盤緑化工法(厚層客土(基材)吹付工法)」が開発され、昭和 50 年代前半は改善・改良が加えられ、昭和 50 年代中頃より次第に採用事例が増し、昭和 60 年代には法面緑化工法の標準工法として位置づけられるに至っている。

また、昭和 50 年に「吹付砕工」が開発され、昭和 51 年には吹付砕工の普及のため「フリーフレーム協会」が設立された。最初は吹付砕工の枠内に植生土壌を詰込む方法により硬質切土法面の緑化を行っていたが、次第に施工効率の優れた厚層基材吹付工法による枠内緑化が優勢となり、一般化した。

自立安定状態の地山に対しては金網張工を緑化基礎工として直接厚層基材吹付工法による、いわゆるベタ吹きと称される植物生育基盤を造成し、緩み土塊や浮石など表層が不安定な法面に対しては吹付砕工を実施した後、枠内を厚層基材吹付工法により植物生育基盤を造成する複合法として採用されたことにより、吹付砕工法+厚層基材吹付工法は急速に施工面積が拡大した。吹付砕工法と厚層基材吹付工法が、同一の「モルタル吹付機」を用いて施工できる点が、便利・効率的であったからである。

このような方法が次第に高度化し、昭和 50 年代半ばには吹付砕工法がロックボルトやアンカーの支承盤として採用されるに至り、厚層基材吹付工法との複合により緑化可能な抑止工として位置づけられるに至った。

厚層基材吹付工法は、造成された植物生育基盤のみで高い耐侵食性を持つものであるため、牧草による急速緑化を行う必要性の少ないものであったが、過去の急速緑化工法により形成された外来牧草による急速緑化の刷り込み・イメージを払拭することは困難であり、導入植物は外来草本を用いることが主流であった。しかし、トールフェスクを主とする冬草型外来牧草の夏期・冬期の休眠による地上部の黄化現象が景観上見苦しいとされ、次第にヨモギ、メドハギなどの夏草型在来草本類が多用されることとなり、夏期の緑を確保する方向へと進んだ。これにより、昭和 56 年末にはヨモギの在庫が不足し、品薄となった。また、同様の理由により、徐々にではあるが木本類のヤマハギ、イタチハギの採用が増加した。

昭和 59 年には、厚層基材吹付工法を実施する専門業者の集りである「日本岩盤緑化工協会」が設立され、厚層基材吹付工法に関する技術の標準化に着手した。そのとき発行した、「有機質系吹付岩盤緑化工法・技術資料」では、外来牧草とともに環境庁の基準等にならない「郷土種」という言葉を採用し導入可能な在来植物の位置づけを行った。その種類は、我が国に分布・自生する植物の中で播種工により比較的容易に導入可能なヨモギ、ススキ、イタドリ、メドハギ、ヤマハギ等であった(平成 11 年改訂版より、在来種と変更している)。

## 2) 厚層基材吹付工法・後期

### －ハギ類の時代 緑のボリュームアップ－

※まとめ

・昭和 61 年：

「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」改訂発行。「厚層基材吹付工法」が一般工法として採用される。維持管理の少ない法面を造成する方法として草本類と木本類の混播を行うことを推奨し、牧草の播種量を抑えた播種粒数を明示した。木本類としてイタチハギ、ヤマハギ、ヤマハンノキ、ヤシャブシを挙げたが、確実性の高いイタチハギ、ヤマハギを多用する結果となった。

・昭和 63 年末：

ヤマハギの在庫が底をつき、ヤマハギを用いた施工が不能となった。→安定供給を図るためヤマハギの採種場が韓国・中国へ移転(現在より過去を裁くな・時代の要請のもと実施した結果)。以降、全国の法面に「ハギ山」が出現。

法面緑化工法は、法面の侵食防止という土木的・防災的な要求により始まり高度化してきたが、やがて景観、すなわち夏場の緑量の確保や法砕工の隠蔽へとその要求が変化してきた。このような要求に応えるために在来草本類として牧草とともにヨモギを多用したが、ヨモギの冬枯が著しく目立つため、また、その強い繁殖力により他の導入植物を被圧してしまうことより、次第に採用は下火となっていった。これに替わり、急速に導入事例を

増したのは、ヤマハギ・イタチハギであった。

吹付造成された植物生育基盤のみで優れた耐侵食性を持つ厚層基材吹付工法の開発により、牧草に比較するならば、発芽にばらつきがあり生育の遅いハギ類であるが、播種により導入することが可能となった。ヤマハギ・イタチハギは、木本類種子の中でも比較的発芽が斉一で初期成長が速いという性質を持つため、外来牧草に比較するならば遅いものの旺盛な被覆力を持つことより扱いやすく、確実性が高いためその使用は厚層基材吹付工法とともに急速に増加した。

ハギ類を含む多様な木本類を播種工により導入する方向をリードしたのが信州大学の山寺教授・特定法面保護協会安保技術委員長の両氏であった。

昭和 61 年に(社)日本道路協会の発行する「道路土工のり面工・斜面安定工指針」が改訂され、厚層基材吹付工法が正式に採用された。

そこでは導入植物として、外来草種・在来草種・木本という言葉が用いられ、「長期的に維持管理の少ない植生法面を造成するには草本類と木本類との混成が望ましい」とされ、これまで法面緑化工に多用されてきた外来草種の播種量を抑え、在来草種・木本類を主とする群落を造成することを推奨し、「混成が期待される植物種の発生本数の概数」が示された。

播種用植物として、在来草種はヨモギ、イタドリ、ススキ、メドハギ、木本類としてイタチハギ、ヤマハギ、ヤマハンノキ、ヤシャブシが挙げられ、持続性と環境保全を配慮した法面緑化を行うためには木本と草本の混成による緑化が適当であるとされ、少量の外来草種とともにこれらの在来草種、木本種の混播を行う方向性を示した。

これにより、これまで実施されてきた外来牧草中心の播種設計の見直しが始まり、比較的導入の容易な木本類であるイタチハギ、ヤマハギの導入が全国で実施され、昭和 63 年末にはこれらハギ類の在庫が底をつき、ハギ類の播種が不能な状態とまでなった。

これら在来草本類、ハギ類種子の国内採種量はもともと少なく、また、人件費の高い国内での採種は経費的にも制約され、勢い品質のばらつきが大きくなるため、採種場を国内より海外(主として韓国・中国)へ求める傾向にあったものが、これを契機にこれらの種子は外国産種子で大部分が占められることとなった。

これにより、在来草本類、ハギ類に対する需要と供給のバランスがとられるようになり、現在に至っているが、雲仙普賢岳の噴火跡地の緑化など大規模面積に対する緑化工事が始まると、種苗メーカーの年間需要の見込みとの相違が生じ、ハギ類の在庫が不足するという事態が発生している。

このような時代の要請により、ハギ類の採種場が海外へ移転したことにより、「郷土種」という地域を限定した意味合いを持つ用語を用いたのでは実体にそぐわない

と考えるようになり、法面緑化業界では次第に「在来種」という言葉を用いる方向へ進んだ。

一方種子の供給サイドである種苗メーカーでは、「郷土種」、「在来郷土種」という言葉を用いているところもあり、それぞれがその場の雰囲気・気分により郷土種・在来種の区分を曖昧としたまま使用している。

(このような現状の報告を行うと、なぜ外国産牧草を使い続けるのか、ハギ類については我が国に自生するハギ類と分類学的には同一種であっても、外国産種子を使い続けてきたことはけしからん、とのお叱りを受ける事態となることは予想できる。その時代時代の社会の要請に対処してきたのがこれらの実体であり、現在の視点よりこれを裁いても問題解決にはつながらず、過去の反省に立ち今後どのように対処すべきかについて議論を行っていくことが必要と考える。)

### 1.3 遅速緑化・郷土種・種の多様性(・遺伝子)の時代 —平成の緑革命—

※まとめ

・平成4年:

「環境と開発に関する国際会議(地球・リオ・サミット)」開催。スローガン「環境保全と開発を統合しバランスを取り、持続可能な開発を図る」→トップダウンの形で環境行政の方向転換。

環境庁:「環境基本法」、「環境アセス」、「生物多様性国家戦略」、建設省:「緑の政策大綱」緑の三倍増「第11次12次道路整備五カ年計画」・法面緑化・再緑化・エコロジカルネットワークなど「緑景観の回復」より、「生き物に優しい環境緑化」へ方向転換。これにより、「郷土種」という言葉に新たな意味が付加されることとなり「種の多様性」、「遺伝子レベル」までの配慮を求められるようになった。しかし、トップダウンの形で施策としての方向性が示されただけで、具体的な方法が明示されなかったため、具体的に物を造ろうとする計画・設計・施工段階の混乱が生じた。

発注者サイドでは、様々な試行がなされた。

施工業界の工夫:種子の導入;斜面樹林化工法など、苗木の導入;岩盤法面植栽工法・ソイルストッパー工法・切戻置苗吹付工法・樹林パッチ工法など

・平成11年:

「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」改訂。硬質な法面に対し周辺環境との調和を図るための工法の一つとして、軟質な部分に植穴を掘り植物を植付ける「植栽工」とは別に、「苗木設置法」を位置づけ記載した。(当レポートでは、硬質切土法面への樹木の導入は、植穴を掘り植付けることをイメージさせる植栽という言葉を使い、導入という言葉を用いた。)

平成の時代に入り土木分野の環境行政の流れが大きく動き出した。

その皮切りは河川行政であり、「多自然工法」、「近自然工法」という名称で、これまで三面張り直線護岸により、雨水を早急に海に導き洪水を防ぐという形であったものが、河川護岸を湾曲させ植物を導入し自然に返すことを許容する方向へと大きくシフトした。「ピオトープ」といった概念が紹介されたのも、この時期である。

このように平成に入り着実に環境問題への取り組みが替わり始めたが、この動きが法面緑化工の分野へ及ぶのは、「地球サミット」以降の環境関連施策が実施されてから後のことである。

これによって、導入植物に対し「生物の多様性」、「遺伝子」レベルにまで配慮するなど新たな側面が要求されるようになり、「郷土種」が脚光を浴びることとなった。

しかしここに至っては、現在までの法面緑化工を支えてきた植物材料の供給システムでは機能不全となり対応ができない状態となってしまった。

「在来植物」の同義語として用いられた「郷土種」は、地域を限定されその土地、現場周辺に生育する植物を指すようになり、現地採取の種子などにより植物材料の生産を行うことが求められ始めたためである。

厚層基材吹付工法の実施当初は古典的・素朴な植生遷移説を信じ、昭和61年に日本岩盤緑化工協会では、沖縄を除く全国を5区分し、さらにこれを12に細区分し施工前の地山の状況の確認を行った後、Braun-Blanquetによる植物社会学的な手法による植生追跡調査を実施すべく「岩盤緑化工 岩盤調査・植生追跡調査 調査要領」を発刊し、調査を実施した。しかし、無土壌岩石地に植物を導入するために開発した工法であり、パーク堆肥・ピートモスなどの有機物に富みリッチな土壌養分とする植物生育基盤材の配合となっているために、施工当初導入した植物が肥料切れなどによる衰退が発生せず、そのまま長期間永続することとなり、そのもくろみが大きくはざれることとなった。

切土法面の侵食防止・景観対策という観点からは、急速に緑化・被覆することで目的は達しているわけであるが、「自然の回復・復元」という次元からみると周辺植生からの侵入定着を阻害することとなり、時代の要請とのずれが生じ問題が発生することとなったわけである。

このような実体を踏まえ施工業者のレベルでは、「自然の回復・復元」という施策のシフトに対応するため、在来・既存樹林より採取した種子を用い法面の樹林化を行う「斜面樹林化工法」や、苗木を法面に導入する「岩盤法面植栽工法」、「ソイルストッパー工法」、「置苗吹付工法」、「樹林パッチ工法」などの工法の開発を行った。

平成11年に改訂発刊された「道路土工 斜面・のり面工安定指針」では、「のり面と周辺自然環境を近似させ周辺環境との調和を図るため緑化による環境・景観対策を行う場合、苗木を法面に設置した後植物生育基盤を造成する方法を行うこと」と明記し、盛土に樹木を植付ける「植栽工」と別に「苗木設置工法」として位置づけし

掲載した。

(当レポートで指す硬質切土法面に対する苗木の植付けとは、苗木設置工法とそのバラエティを指すものであり、盛土など軟質な地盤に植穴を掘り苗木を植付けるイメージを伴う植栽という言葉は不適切と考え、苗木の「導入」という表現をした。)

これらの方法は、木本類の導入は種子、あるいは苗木であるため初期成長が遅く、従来の外来牧草を大量に播種する手法では木本類が被圧され消失してしまうため、外来草本類の播種量を減じ実施することが多く、このため半年～1年以上法面が裸地状の景観となることより「遅速緑化工法」と名付けられた。

このように工法的には厚層基材吹付工法をベースとし様々な開発がなされ、一応の技術の蓄積がなされたといえるが、植物材料の入手・供給の点で課題が残されている。

この工法と植物材料の安定供給が車の両輪として連動しなければ、「郷土種」を用いた法面の樹林化＝自然の回復は困難と考える。

また、これ以外の問題として計画・設計管理・発注・施工・検査に至る一連の流れが同一の定義の上で連動していないため、ある部分で過去の「急速緑化工法」のイメージを持ったまま対応すると、「遅速緑化工法」を実施することは困難となり、計画時のイメージが大きく損われることとなる。

動植物にまで配慮した法面緑化というスローガンを掲げたとしても、現実には法面保護・法面防災工事の一環として従来技術の延長線上で法面緑化工は実施されており、計画から検査に到るまで、理想的にはモニタリングに至るまでを、植物を中心とする一貫した定義・ルールの基で実施しなければ、土木工事の一環として「郷土種」を用いた「遅速緑化工法」が普及・一般化していくことは困難と考えられる。

## 2. 郷土種・自然など言葉(用語)の工学的定義付けの必要性

切土法面に対し「自然の回復・復元」を求めることが「流行」となり、「自然」を「樹林化」と読み替えて施工を行っているのが現状である。このとき、自然＝郷土種を用いた樹林化と短絡的に結びつけてよいものかどうかの議論はなされていないことも問題の一つと考えられる。

素朴に考えるならば我が国の自然の代表は森林であり、森林を自然の代名詞として用いることはやぶさかではないが、物を造る立場、工学的な立場より考えるならば、そこに用いる植物材料(郷土種)や自然＝樹林化などの内実について考察することが必要であり、計画より検査に至る流れに共通する言葉(用語)・定義付けが必要と考える。

ここでは、曖昧模糊に使われている「郷土種」と「自然」に的を絞って、現状の定義の問題と工学的な定義付けの必要性について述べることにする。

### 2.1 「郷土種」の定義

－植物材料として具体的な定義の必要性－

※まとめ

「在来種」、「郷土種」という用語に対し、物造りを行う工学的な観点からの定義付けがなされていない。これにより、種子・苗木の供給体制の混乱が生じている。

定義付けが行われるということは、それに基づく品質基準が示されるということであり、品質に見合った供給価格を提示できるということでもある。

この点が、不明確なまま「在来種」、「郷土種」という言葉が一人歩きしているため、経済原則に則りコストダウンの方向へ進み、外国産「在来種」が出回ることとなった。このため、「在来種」、「郷土種」の具体的な定義が必要。

・外来種：外来草本類・牧草

・在来種＝郷土種、外国産「在来種」：

ヨモギ、メドハギ、木本ハギ類

・国内産「在来種」：

国内に分布する既存木などより採種したもの

・狭義の郷土種：

ある地域の自然植生に自生する植物より採種したもの。→この場合、ある地域の範囲は、どのように定めるのか？

しかし、このような定義付けのみでは「在来種・郷土種」の供給が改善され得ない。採種業者の高齢化、単年度発注では採種できない、結実はお天気任せであり品質・量を安定させることは困難、このような種子を用いて問題が生じた場合の責任体制・枯保険などの救済制度の未整備、等の問題が残されている。このよう実体を踏まえた上で、供給体制の整備が必要となる。

#### 1) 郷土種の定義

○「自然公園における法面緑化基準」の定義

法面緑化の基準書に「郷土植物(種)」という言葉が用いられ公に刊行されたのは、昭和57年に発行された環境庁自然保護局監修による「自然公園における法面緑化基準の解説」が最初と考えられる。

これによれば、「自然公園内の道路建設及び各種施設の敷地造成に伴い生ずる法面は、風致景観の保護上並びに防災上緑化されなければならない、それが周辺の植生・景観に馴染んだものに復元されることが望ましい。」とされ、「地域の特性に応じた緑化工法及び郷土植物などの緑化植物を採用することが所期の目的を達することはいうまでもない。」とし、郷土植物の使用を推奨している。

これは、昭和52～54年の三力年で、全国自然公園内



法面を対象に調査を行い、その結果より郷土種を用い各地の特性に応じた緑化工を行うべく技術を集大成したもので、昭和 55 年「自然公園における法面緑化基準」を制定し、昭和 57 年に設計・施工計画・実施に必要な解説や仕様書を加え解説書として「自然公園における法面緑化基準の解説」として公に出版されたものである。

郷土植物については、「ここでいう『郷土植物』とは、施工対象地周辺法面やその地方に自生分布している植物のことである。郷土種の多くは、その現場の生育環境に良く適応し、安定した植生を保つこと、また、植物導入後の遷移がスムーズに行われることなどの長所をもっている。つまり、郷土種を使用するのは、周辺自然植生と容易に調和がとれること、また、群落の維持や保存上有効であることなどの理由によるものである。」とし、郷土植物＝郷土種としており、その地方に分布自生・生育する植物と定義している。

植物の導入方法は、「出来るかぎり自然状態に近い植物群落を復元しようとする配慮から播種工を主とし、植栽を行う場合は苗木を用いる」としている。

#### ○「緑化技術用語事典」の定義

平成 2 年に日本緑化工学会より発行された「緑化技術用語事典」では、次のように記載している。

##### ・郷土植物

明確な定義はない。一般に、長い期間の自然淘汰により、それぞれの地方の気象や立地条件によく適応して、自然状態で広く分布している植物を、その地域の郷土植物と呼んでいる。従って、同一種であっても環境条件の異なる地域に播種、植栽する場合は、厳密には郷土種とはいわない。

##### ・在来樹草種

外来樹草種に対応する語。ある地域に自生する植物で、外来樹草種と帰化樹草種(帰化種)を除く。植物の分布から見て日本の固有種(特産種)であれば間違いなく本邦における在来種といえる。緑化工用の植物の中で、国内での種子の調達が可能なのは輸入している。この際、対象植物が日本および欧亚大陸にまで分布するような種(在来種と同一の種・亜種・品種)は、植物分類学上では、同一と考えられても、遺伝的な特性が相違することも考えられるので、導入する際は植物の生理・生態を十分に検討すべきである。狭義には、ある地方で従来から自然植生群落のなかで自生し、自然淘汰されながら環境に適応した樹草種をさす。

##### ・外来植物

本来の生育地から他の地域に移動して生育を続ける植物。観賞用あるいは有用種として持込まれた植物が多い。ケンタッキー 31 フェスクなどの緑化工用芝草もその代表種。早期緑化を目的とした緑化工、特に播種緑化工では、先駆植物として重要な役割をもっている。在来植物の対語。

#### ○「自然をつくる緑化工ガイド」の定義

平成 9 年に林野庁の監修で刊行された「自然をつくる緑化工ガイド」では、郷土植物、在来植物、外来植物を次のように定義している。

##### ・郷土植物

長い期間の自然淘汰により、それぞれの地方の気候や立地環境に良く適応して広く自然分布している植物を、その地域の郷土植物と呼んでいる。なお、同一種であっても、環境条件のことなる個体を播種、植栽した場合には、厳密には郷土植物とはいわない。郷土植物を、外来植物の対語である在来植物と同じ意味で用いる場合も多い。

##### ・在来植物

ある地域の自然環境に適応して古くから植物相を構成してきた植物をいう。環境への適合性が高いことから、永続性のある群落を形成する目的で緑化工に多用される。ヨモギ、イタドリ、ススキ、ヤマハギ、ヤシヤブシなどがこれに該当する。外来植物に対応する語。

##### ・外来植物

外国など本来の分布地域から観賞用あるいは有用種として持込まれた植物をいう。早急な緑化が可能であること、種子の入手が容易で安価なことから、先駆植物として用いられる。在来植物の対語。

#### 2) 「郷土種」定義の必要性

以上によれば、外来植物の対語として在来植物を用い、在来植物と郷土種を同一としている。しかし、同一種であっても環境条件の異なる個体を用いる場合は厳密な意味では郷土種とはいわないとし、狭義の在来植物＝郷土植物として定義付け、気候条件の異なる広い地域をまたぎ生育するものを広義の在来植物と位置づけしているものと解釈できる。

ただし、このような抽象的な定義付けは、何となくイメージとしてわかるというものであり、実際に仕事をし物を造る場合には実効性を持たないものであり、混乱を招くものとなる。

学問的な定義付けと、物を造るための工学的な定義付けはそのレベルが異なるものであり、広義・狭義というどちらにでもその時々を使い分けることのできるものであってはならない。実際に計画・設計し、施工するためには、その定義がより具体的なものとなっていなければ、実施できないものである。

在来植物(種)とは、国内に自生する種類と同一種であればよいのか、すなわち外国産であっても分類学上の同一種を包含するのか、国内のみに限定するのか、さらに狭い地域に限定するのか。郷土種という概念は同一種であっても地域を狭め限定した分布域のものを指すようであるが、その場合はどの範囲に分布しているものを指すのか、地域の気象条件・立地条件とは。外来種とは、歴史的にはどの程度までさかのぼったものをいうのか、帰化植物との違いは。など植物材料として用いるためには



具体的な定義が必要となる。

もちろん現実には厳密な定義付けを行うことはできないであろうが、何らかのガイドラインを設けイメージのすりあわせを行わなければ、採種・生産・流通ができないものである。

ものができた後でこんなイメージではなかった、という話しになってしまうこととなる。

種子・苗木などの生産・流通は経済原則に則り動いており、具体的な定義・規格値がない場合は、無限に低価格へと向かうものである。価格競争に勝ち抜くために、知恵を絞って競争を行っているためである。低価格へ向けて競争を行いながらも、要求水準を満足させ、かつ利益を出すことが求められている。

すなわち、植物材料に対する定義・規格・品質要求が示されていないければ、それぞれの立場での理解のまま利潤を出す方向へ向かい、大筋で満足できるという材料が納められることとなり、永遠に要求する水準の材料が入手できないという状態になってしまうのである。このいい例が先に示したハギ類の問題であり、郷土種＝在来種＝外国産在来種という構図ができあがる下地となるのである。

とくに今後要求される狭義の「郷土種」の場合、従来の生産・流通品目として扱われていないものであり、定義・規格が明確に示されないと似て非なるものが流通する可能性が高いものと言える。

このあたりの事情を理解しないで、抽象的な定義のまま理想を追い求め、過去を裁いたとしても、現実との乖離が大きくなるばかりである。

従って、物造りを行う立場に立ち、植物材料としての「郷土種」の定義・品質水準・規格を定めていくことが、「郷土種」導入を円滑ならしめる要諦と考える。(学会の話題提供の場で経済性に関する話しをすることは髣髴噴飯ものと考えてるが、この根元的な部分に触れなくては「郷土種」の使用に関する問題は解決不能と考えるため、あえて問題提起を行ったものである。)

### 3) 「郷土種」の生産・流通体制の整備

#### －誰がやるのか－

法面緑化工のハードの面、すなわち急勾配・硬質岩盤法面、あるいはコンクリート・モルタル吹付面、または、極々強酸性・強アルカリ性法面などの特殊地に対して、人工土壌を用い、安定した植物生育基盤を造成し植物を導入し法面の緑化を行うという、工法の開発は様々なレベルで実施されその成果をあげている。

しかし、植物材料の面については、未整理・未解決のまま種苗メーカーに任せ問題は残されている。前述したように在来種・ハギ類の種子については、市場の原則に則り海外に採種場が移転しており、これを国内採種に切り替えることは困難である。

現在、一部の在来木本類の種子については既存林より

山取り採種が実施されているが、低賃金・高齢化により採種する業者が激減しており、高価格化がやむを得ない状況となっている。

また、在来樹木類の種子は隔年結実やその年の気象状態により結実が左右されるため、単年度で安定的な種子の確保を行うことは困難であり、市場に安定供給するためには数年前から在庫を確保しておくなどの工夫が必要となる。この場合、保管技術が未整備であり品質面の問題が発生する。

このため、土木工事の常である単年度予算による年度末発注・変更による増減、あるいは、要求品質水準などに対応できないこととなる。

採種業者がなりわい(業)として成り立つ品質・価格設定と、流通機構、言い換えるならば発注・計画システムが整備されない限り、種子による「郷土種」の導入は前途多難と言える。

では苗木はどうか？

現在の苗木の生産は、実生によるものと挿木による方法がとられているが、その大多数は造園用樹種の苗木である。

造園用の実生苗造りの実績があるため、在来木本類の生産は比較的容易に行えるものと考えられる。しかし、「生き物」である苗木は旬に出荷しないと不良在庫に化けてしまい捨てるより方法のないものになってしまうこととなる。また、生産には少なくとも1年以上の年月を必要とする。現状の単年度予算による計画・設計・発注システムでは生産・供給が間に合わないのである。

ある程度以上の市場規模が見込めるならば、見込み生産が可能である。しかし、現状の公共工事の縮小、コスト縮減というダブルショックのなかで価格が高くなる方向での「郷土種」の使用がどこまで許容されるのかが問題である。大幅な市場の拡大を見込めない中で「在来・郷土種」供給システムの構築が今後の大きな課題となる。

ここで「在来・郷土種」という言葉をあえて用いた意味は、外国産であっても同一樹種であればよいのか、我が国に自生するものという範囲で考えていくのか、ある限られた範囲の地域内に自生するもので対応していくのか、により生産方法・コストが異なってくるものと考えられるからである。

極論するならば、現在のコスト縮減という流れと、厳密な意味での「郷土種」を用いた自然の回復を両立させようとすることは不可能ということである。

「郷土種」による法面緑化を進展させていくためには個別的な技術の問題以前の、複雑に絡み合う様々な要因を整理しながら、「在来・郷土種」を含む植物材料の供給システムについて模索しつつ、従来の「急速緑化工法」イメージを払拭していくための定義作り・ルール化を押し進めていくことが必要となる。

## 2.2 回復・復元する「自然」とは何か?

ーどのような種類の組み合わせを「自然」と称するのか  
※まとめ

「自然」を回復・復元する、というわりには「自然」の正体が抽象的で不明である。

植生・表土を剥ぎ取り硬質な岩盤がむき出しとなった切土法面に対し、「すぐさま元通りにしろ」という要求は不可能であり、地域性・時間の経過(遷移)を踏まえた上で「自然」を構成する要素を分解・分析し、最低限必要な要件についての共通した認識の構築が必要である。

「郷土種」の定義よりも「自然」の定義付けは難儀である。ここでは、「自然を回復・復元」という観点より、工学的に造成可能な近・疑似「自然」と割り切ることが必要と考える。

いくら「郷土種」を駆使しても、法面緑化技術のみでは「自然(生態系)の復元・回復」は不可能と考えるからである。現状の法面緑化技術では、法面に緑の絆創膏を貼り付け傷口がさらに大きくなることを防ぐことが第一であり、後は自然治癒力に任せる方法がベターと考える。

今後の法面緑化技術は、自然の治癒力を妨げることのない質の高い緑(の絆創膏)を、いかに造成できるかについての検討を行うとともに、復元目標とする植物群落をどのように設定するか、またいかに時間を短縮し復元目標に到達できるかの技術について検討に入るべき時に来ているものと考ええる。

この大前提となるものは、造成可能な「自然」をどのように定義付けできるかであり、それによりアプローチが大きく異なるものとなるものと考ええる。

現状は、切土法面の「自然の回復・復元」を樹林化と読み替え実施している。この場合、種子を用いるか、苗木を用いるかの方法の違いを除くならば、ともに現状の市場で入手可能な樹種を用い樹林化を図る、または、一歩進んで自生の植物より採取した種子などより苗木を造りそれを用い樹林化するという行為を「自然の回復・復元」と称しているものと言える。

このとき、どのような樹種を組み合わせ、どのような密度・重み付けで配置することが「自然の回復・復元」の入口となるのか、近道となるのかについての情報の整理がなされていないことが問題と考えられる。

植物群落を造成するという観点がなく、単に「在来・郷土種」を組み合わせ導入することで事が足りるというスタンスに立ち実施するならば、その土地の立地条件に最も適合した単一種によって占められることも考えられ、「高級ハギ山」の造成となってしまいう可能性がある。

苗木より「鎮守の森」を造成しようとする「生態緑化」の考え方は、潜在自然植生構成種を用いることが「自然」を造ることだと、単純でわかりやすい定義を下しているように解釈できる。その場合、その土地の潜在自然植生構成種とは何か疑問として残る。環境条件の厳しい切

土法面に、マクロな気候的潜在自然植生構成種を持ち込むことは危険が伴うし、ミクロな微地形・微気候的な潜在自然植生を同定することは困難である。

標徴種・識別種などによる植物社会学的な植生分類は全国を網羅し実施され資料が整備されているが、果たしてこの資料は切土法面の植生復元に直接使えるのだろうか、疑問が残る。

法面の周辺に自生しているのだからと周辺植生と同様な種類を法面にそのまま持ち込むことは危険であり、むしろ、法面の立地条件と同様な土地的極相林構成種や先駆樹種とすることが適当とも考えられる。

また、いかに厳密に植物社会学的な調査を行ない導入可能な樹種を選定したとしても、一般に流通し入手可能な種類が限定されるならば、近縁の種類と同様な地位を占める別種を導入することとなり、このような手法でも将来的に周辺自然植生に同化していくならば問題ないとするのか、現地採種により最初から厳密に同一種の導入を行うべきなのかについての判断基準が準備されていない。

また、現場周辺の自然植生より採種し苗木を造ることは理想といえるが、この場合も自生種による苗木の生産・導入と「自然の回復・復元」を期待できる種類の組み合わせであるか否かとは別のレベルの話となる。その土地に生育する種類を導入するならば、それで足りたとするのかについての討議が必要となる。

その土地の「自然の回復・復元」を早期に図ることのできる種類の組み合わせ、あるいは、「自然の回復・復元」を阻害しない種類の組み合わせについての、情報収集・整理が必須となるものと考えられる。

極端に言うならば、外来牧草により緑化・被覆することが、ハギ山を造成することよりも周辺自然植生との同化が速く、「自然の回復・復元」という目的に対し早道かもしれない、「自然の回復・復元」という言葉の示す中身(植物の種類・組み合わせと植生構造)と、それに至る速度の規定が必要となろう。

「郷土種」をむりやり導入しなくとも、10～20年の内には自然植生の回復が始まればよいというスタンスや、数年という短期間で自然の回復を図ることが求められるために先駆樹種を導入し一応の樹林化状態を形作る、などのスタンスである。何年で、「どの程度の自然?」状態へ持っていくのか、技術的に対応可能な自然の中身の分解と言える。

また、その土地に自生しない樹種を用いても、それが鳥の止り木として作用するならば、結果として鳥散布種子による「自然回復・復元」が急速に行われるものと考えられる。このような場合は「郷土種」にこだわる必要性はなく、むしろ周辺に種子の供給可能な樹林が存在するか、その距離と構成種、及び鳥の種類・密度などが問題となる。

従来から行われてきた植物生育基盤のみを造成し植生

の侵入を待ち受ける「無播種施工」も「自然の回復・復元」の一手段となろう。このような場合は、風散布種子により植生の回復は始まるものと推定でき、風向と種子供給源となる既存林の種構成が問題となる。また、供給源が近くにない場合は、風上側に母樹を植栽するという手法が可能となるかもしれない。

このような方向についての基礎資料となる情報は、東名高速道路法面の植生遷移の追跡調査を実施している日本道路公団静岡建設局の星子調査役などより発信されているが、東名にとどまらず全国各地の試料の整備が必要となる。

このような考え方をすれば、切土を行った法面そのものよりも、むしろ周辺の既存林の保全に対し注意が必要となる。法面と周辺既存林を「コリドー」とする「エコロジカルネットワーク」の拠点として法面緑化が実施可能なものとも考えられる。

以上に示したように、植物材料を単に組み合わせるのではなく、目標とする植物社会・群落を回復・復元するためには、最低限必要な種類の組み合わせと密度・重み付け、あるいは存在してはならないものなどを解析し、群落構造について植物社会学的な観点より解明することが必要であり、群落回復過程の研究をモニタリングなどを通じ実施することが大切であり、目標とする群落へ導くための評価項目の整備・植生管理に関するガイドラインの整備が急務となるものと考えられる。

### 3. 自然の多様性と土木的均一性との折り合いをいかに調整するか

#### 3.1 樹林化工法の多様化

##### ※まとめ

切土法面に樹木を導入する方法は様々なものがあるが、実施経過時間が短く現状では評価不能と言える。しかしながら、特定の手法に固執する傾向を認めることができる。

多様な「自然の復元・回復」を図ると言いながら、特定工法に固執することはナンセンスと考える。

緑化に対する要望、目的、目標、経費など多様な要求水準に応じ選択可能な自由度の高い選定基準が必要と考える。

我が国における「自然」のイメージは森林である。このため、法面緑化工の世界では、「自然回復＝樹林化・木本類の導入」という図式で物語が作られてきた。

「自然の回復・復元」について語ろうとするとき樹林化の今後の方向性を探るために、木本類の導入の歴史的経過についても俯瞰し整理・敷衍することが必要と考えられる。

木本類の導入技術は便宜的に大別すると、木本類を種子により導入する立場「播種派」と苗木より導入する立

場「苗木派」に分けられる。さらに苗木派は「生態緑化派」と「置苗緑化派」に分けることができる。

この中で、法面緑化工の主流となってきたのは「播種派」である。というよりは、切土法面に対する木本類の導入は、播種による方法を主とし、他の方法は副次的な方法としか認めない、という立場を固持する傾向にある。

これに対し、「生態緑化派」は「潜在自然植生」構成種を苗木により導入することが「自然」であるとし、これもまた自身の立場を固持している。

「播種派」は、前述したように信州大の山寺教授、全国特定法面保護協会の安保技術委員長の両氏をその旗手とし、一貫して播種による樹林化を押し進め法面緑化業界を指導・リードしてきた。

種子により木が成長し森林となったものであり、これが最も自然な緑化の方法であり、防災的にも優れた機能をもつ、というものの考え方である。

この方法が広く普及し、昭和61年には「道路土工のり面工・斜面安定工指針」が木本類を播種により導入することを推奨したため、播種によっても比較的確実に導入可能な木本類であるハギ類の導入が一般化し、全国に「ハギ山」を造るに至った。また、この方法は、夏場の緑量の確保・景観造成に便利であったために法面緑化工の標準的な方法に位置づけされた。

これに対する、「生態緑化派」は元横浜国大の宮脇教授により提唱・指導されたものであり、我が国の気候的極相（潜在自然植生）構成種による緑地帯・「鎮守の森」を造成することが「自然」とするものの考え方である。植物社会学の理論を我が国に応用・単純化したわかりやすい「生態緑化」理論は、造園・土木の分野を越え、自然保護運動とも連動し幅広い支持者を獲得した。

高度経済成長による公害問題への反省により、昭和40年代に盛んとなり義務づけられた工場緑化手法として採用され、「生態緑化」として実施され、やがて「エコロジー緑化」を標榜するに至った。土木分野においても生態系に配慮した法面緑化を行う気運が高まり、「エコロジー緑化」の考え方により計画・実施される法面が出現した。これは、主に、これまでの法面緑化工を実施した法面緑化業界以外のゼネコンより提案され実現したものが多く、また、「エコロード」などを計画する時点で、「生態緑化派」の諸先生の指導により実現したものが多くことが特徴的である。

どちらも、優れたものの考え方であり参考とする点は多々あるが、純粋学問の世界より実践活動に移った時点でゆがみが生じ様々な問題が発生した感がある。

誤解を恐れずに「…派」という言葉を用いた理由は、いずれもこの方法が正しいと強力な信念を持った信奉者が出現し、いわば信仰とも思える排他的側面を持ったためである。

学問の世界での論争ならば致し方がないが、物造りを行う場において他の方法を認めない形で樹林化が進行し

てきたことは不幸なことであった。互いに正面だつての批判は避けつつも、他を認めない形で現在に至っているからである。相互の批判により互いの不足を補い、適正な技術が生まれる機会を逸したものと考えるからである。それぞれの立場からの議論の伸展を望むものである。

法面の緑化は、その目的・目標により、また、予算により手段・手法を異にすることは当然のことである。従って、各工法、手段・手法について第三者により、適正な位置づけがなされなければならない。このような緑化目標・目的の整理、すなわち、その部位の防災的重要性(絶対安全か、多少の崩落・落石は許容できるかなど)、緑化の必要性(都市部に近いか自然公園の中か、緑化を行う場所の位置など)、緑化を行う水準(侵食防止でよいのか、景観か、自然回復まで必要か)、緑化・復元を行うために許容される時間(早急に必要か、長時間かけてもよいか)、などの様々なファクターによりどのような手段を用いるかについての検討がなされなければならない。

硬質切土法面に対して木本類の導入・樹林化が行われ始めて、ごく短い時間が経過したのみであり、現状ではどのような手段が最適であるかについての評価ができる段階にはない。

さらには、どのような部位に対し、どのような緑化を行うことが適当かという問題についてさえ工学的な立場に立つガイドライン・整理が示されていない以上、樹林化に対し同じ土俵・同一水準での比較・評価を行いがたいのが現状と言える。

このような状況のなかで、工法の良否の判定を行うことはナンセンスであり、緑化目標・目的に添った工法を選択を行い、時間のフィルターにより結果確認を行っていくほかはすべがないものと言える。

このような中、新たな樹林化手法として「置苗工法」が実施、注目され始めた。

「置苗工法」とは、植栽用の植穴を掘削できない硬質岩盤地法面の上に、苗木を直接設置し、厚層基材吹付工法などにより植物生育基盤を吹付け根締めを行う方法や、すでに造成された植物生育基盤の上にマット状の苗木を張付けるなどの方法を総称するものである。

この方法は、古くから実施されていたものであるが同時に播種する外来牧草、ハギ類により被圧され消失してしまうことが多く、工法として定着するまでには至らなかった。近年「遅速緑化工法」の考え方に対する理解が深まったことより、外来牧草・ハギ類の播種量を減じることが可能になったことより、苗木が被圧されることなく導入が可能となったものである。

「播種派」の主張する種子より樹木を導入する方法は、硬質地山に対しても根系の進入ができるため、防災と緑化・復元を同時に行うことができるという便利なものであるが、導入可能な植物が制限され、種子の流通も関係しても越えなければならない問題がある。

一方、「生態緑化派」の主張する(気候的)潜在自然植生の導入は、気候的なマクロな立地条件において適応する場合は正鵠を得ており理解のしやすいものであるが、このような潜在自然植生は地質的な時間のもと土壌の深化とともに形成された気候的極相と同一なものとなる。従って、潜在自然植生構成種を用いて法面上に樹林化を行うためには深い土層を必要とするものであり、厚い植物生育基盤を保持するための土木構造物の構築と客土が必須となる。また、切土法面という厳しい局所的・ミクロな微気候をもつ立地条件の箇所に、気候的極相構成種がどのように適応するか、厚い客土のもと大型化した場合不安定因子となるのではないか、などの問題を残すものである。

今日要求される自然回復・復元が「種の多様性」を求めるものであるならば、播種による方法や潜在自然植生構成種を用いる方法に比較すると、多種類の植物の導入を可能とし、微気候的なミクロの立地条件に対する適用の自由度の高い「置苗工法」が適しているとも言えるだろう。

ともあれ、多様な「自然の回復・復元」を図ろうという要求に対応するに関して、現状は工法・導入植物の適用の幅が狭すぎるのが問題と言える。

今後、特定の手法に固執することなく客観的な立場より工法・導入植物の位置づけを行い、選択幅を増し、多様なニーズへ答えていくために、多様な工法を選択することが可能なルール作りを行うことが課題となるものと考ええる。

### 3.2 土木的均一と自然の多様性

#### ※まとめ

自然の多様性は、様々なレベルの複雑さ「ランダム」、「ファジー」、「フラクタル」な状態により支えられ成り立っている「複雑系」の世界と考えられる。

切土法面に対し「自然の回復・復元」を行おうとする場合、多様さ・複雑さを取り込みながら実施していくことが、今後必要となるものと考ええる。

過去に、「ランダム」という形で様々な試行がなされているが、このような試みは土木的均一性・直線的な思考と相反し、実施が困難である。今後は、「ランダム」なやり方を工学的に読み替えを行い実施可能な共通語とすることが必要となるものと考ええる。

今後の切土法面の緑化が「自然」を回復・復元するという方向に進むとするならば、土木的に再現可能な「自然」とは、どのような状態を指すのか、植物の多様性という一言で片づけるのではなく、植物の種類の多さのみならず、適正な種類の組み合わせ・配置・構造の解析とともに、この多様性を支えるもととなる地山・土壌の多様性にまでも目を向け、情報収集と整理が必要となる。

法面緑化という仕事に携り土木の世界を眺めると、合

理的であると感じるとともに違和感を感じるものに土木的均一性・直線思考の世界がある。

端的な例えを示すならばコンクリートの世界であり、砂・砂利・セメント・用水を適正に配合するならば、一週強度より4週強度の推定ができるというものである。

極論を承知の上で言うならば、条件制御可能なテーブルテスト結果をもとに統計処理された直線的モデルにより現場の管理が可能という世界であり、このような手法で管理できないものは科学的ではなく技術とは呼ばない、というものである。

これに対し、「生き物」技術である法面緑化工は、制御・予測不能な自然の条件の下、試行錯誤的な経験により成り立つ技術であり、「土木技術」の対極に位置するものと言える。

この点を無視し、あたかも制御できる「土木技術」のふりをしながら実施してきたのが法面緑化工であり、発芽が斉一で成長の速い外来牧草やハギ類までならばなんとか土木的発想と辻褄をあわせることができたが、狭い意味での「在来植物(郷土植物)」の導入、「自然の回復・復元」となると従来のこのような発想ではお手上げであり、お天気任せというほか言いようがなくなってしまった。

このような「土木」と「生き物」技術のせめぎ合いの中で、最も問題となるものが多様性・複雑性であり、ともすれば土木技術よりみるならば管理不能のため「ごまかし」とも受け取られかねない多様性を確保するための「ランダム」なやり方である。

これをどの程度まで容認できるか、または、共通ルール化・土木的な読み替えがどの程度できるかが、「自然復元・回復」を進展していくための大きな課題となるものとする。

#### 1) 植物生育基盤のランダム造成

先に「種子派」、「苗木派」と木本類の導入方法の違いについて大別したが、実はこの両者ともに共通するものの考え方がある。植物の種類と導入方法に関する手法は異なり、「潜在自然構成種」を苗木により高密度に導入するという方法と、種子により木本類を導入するというものであるが、植物生育基盤の造成方法は共通したものの考え方がある。

植物生育基盤の造成方法は、現状の土木的手法の中で一般的に実施されている方法により、均一に仕上げられるという点では、同次元に属する手法と分類・位置づけできよう。

「種子派」、および「置苗工法派」は、主として厚層基材吹付工法により植物生育基盤を造成するものであり、「生態緑化派」は厚い客土を行い植物生育基盤を行うものである。

これらの方法は、植物生育基盤の造成手段は異なるものの、肥沃で均質な植物生育基盤を造成するという点で

は類似といえる。肥沃で均質な植物生育基盤を造成するならば、その生育基盤に適した種類が旺盛な生育を示し徒長することは否めず、自然間引き・棲み分けなどが起るわけではなく、単純な植生となることは自明の理と言える。

このため、「生態緑化」ではシイ・カシ類の徒長した林分が形成され、播種による方法では単純な種類の優占する「高級ハギ山」が形成されるケースが多くなることは否めないこととなる。

導入する植物にのみ目を奪われ、植物の生育基盤となる培地にまで目を向けず、植物生育基盤の造成については土木的な手法に頼り実施したために生じた問題と考えることができる。

翻って、自然植生の立地を鑑みるならば、地山の土壌は一つとして同じ条件の箇所はなく、ミクロにみるならば相隣合う箇所も複雑に異なり、同一のものではなく多様である。この相隣合うミクロな複雑性に支えられて多様な植生の生存が可能となり、これに依拠する多様な「生き物」の生存空間が形作られるわけである。

今後「自然回復・復元」を行おうとするならば、植物生育基盤の質の吟味とともに、土木的手法による画一的・均一な植物生育基盤の造成より、複雑性を許容し「植物生育基盤のランダム造成」へと進むことが必要となる。

自然の回復過程を観察するならば、何らかの形で植物の生育できないギャップ(空地)が発生し、その部分へ周辺植生の侵入が始まり植生の推移(遷移)が進行していくものである。

過去、人為的にギャップを造り出す試みとして筆者は、「点・島(縞)状緑化」、「帯状緑化」、「区分播種工」などの名称で提案・実施してきた。しかし、土木的管理手法との乖離が大きくその実施の理解を得ることに苦労した経緯がある。「土木サイド」は、そのものの考え方には理解を示すが、それを「土木のルール」に従い実践することは実に難儀なのである。

ランダム・不整形に植物生育基盤を造成した場合、設計・積算はどのように行うのか、施工管理はどのように行うのか、検査ができない、などの大きな障壁が立ちふさがる。

これはひとえに施工が終わった時点が「完成」という構造物管理の立場での確認・管理・評価手法であり、「完了」したときがスタートという「植物・生き物」を管理・評価する立場と、その立脚点を異にするからである。これは、計画・設計・施工・検査・会計検査までを含む一連の土木的精算・管理システムの内蔵する根の深い問題であり、「ランダム」を土木的に管理可能な「物語」に読み替を行わなければ実現不可能な方法と言える。また、このような方法は施工サイドに対してもメリットは少ない。説得・出来高管理などに労力・工夫を要し苦労の多い割には、単位面積あたりの所用材料は減ずる傾向にあり、利益を圧迫する原因となるからである。

このような、自然回復をスムーズならしめる手法が経済ベースで実施できるような技術の評価・ルール化が望まれる。

## 2) ランダム切土、ランダム植付け ・ランダム切土

「ランダム切土工」という言葉が一時聞かれたが、「植物生育基盤のランダム造成」と組み合わせるならば「自然の回復・復元」を図るためには有力な手法となるものと考えられる。しかし、これも土木的均一性と真っ向から対立する方法であり、様々な問題を持っている。

ランダムに切土を行うということはどういう状態を指すのか、適当・でたらめでよいのか、「ランダム切土」を具体的な仕様とし、作業員に指図をする方法はあるのかが疑問である。実際には、ランダムというイメージを作業員に通訳し示すことができない。このようなファジーな情報によっても適当に作業を行える察しのよい作業員・技能者が中にはいるが、このような少数の技能者を頼る作業となってしまうことは否めないものと言える。

また「ランダム切土」は、ともすれば緩み土塊を残したまま土工事を終了してしまうという危険性を持ち、どのように施工管理を行うかについても問題がある。さらに問題となることは、「ランダム切土」は特殊技能が必要であるにも関わらず、表層の仕上げ過程を抜くことができる、あるいは、土工量の算定が困難ということで、実際の作業・技能よりも過小の積算となることが多く、これに見合った積算を行うことができないという現行の積算体系の問題が発生する。

## ・ランダム植付け

法面に苗木を導入する場合、生態学的立場より指導する場合「ランダムに植付けろ」という指示が出される場合が多いが、この場合も同様な問題が発生する。

この場合、自然はランダムに植物が生育しているからランダムに植付けるのだ、ということになるが、言葉では簡単な「ランダム」を実際の法面上での作業ではどのように行うか、物造りを行う「工学的」な指示を作業員に出すことは不可能である。

現在まで行ってきた効率一点張りの画一化・単純化された法面緑化工を実施してきた法面作業員に対し、複数種類の苗木をパターン化して導入するということを要求することさえ大幅な頭の切り替えが必要となる。況や、複数種類をランダムに植付けるなどということは至難の業と言える。このため現実には、監督員が現場に張り付いて1本1本規則的にならないように導入する位置を指示することとなる。

しかも、通常の作業よりも効率が悪く手間のかかる「ランダム植付け」に対する経済的な見返りをどのようにするか不明確ならば、力が入る訳がない。これでは、生業として成り立たない。

自然の「ランダム」さを、実際に作業を行い得るよう

に、作業員の身になって通訳を行いつつ、適正な積算を行うことが必要であるが、うまい共通語を見い出さずについていない。

## 4. 「自然回復・復元」工法の適用区分

—すべての法面に「自然回復・復元」を適用するの—

### ※まとめ

現在までの仕様書・基準書・マニュアルは画一的であり、これらの基準書に記載のない手法は基本として認めないというものであった。このため全国同様な物造りとなり、いきおい同一景観が形成され「金太郎飴」の世界となった。

「自然の回復・復元」を行う場合は、むしろ地域性を前面に押し進めることが必要となる。しかし、この点について工夫しルール化を行っていかなければ、同様な問題が発生する恐れが高い。

狭義の「郷土種」を用いた「自然回復・復元」を行う箇所は自然公園の中などむしろわずかな箇所と考えられ、「在来種」を用いるべき箇所、従来の手法で良い箇所、修景を重視する箇所など、緑化の目的に応じたメリハリの効いた適用区分を作成することが大切となる。

これまで、長々と「自然の回復・復元」について語ってきたが、現在は「流行」により猫も杓子も「自然」をつければ世の中が通るといった感がある。

ここで、最も基本的な命題に立ち返ってみると切土法面は本当に「自然」を回復・復元しなければならないのか、という素朴な疑問が残る。

「種の多様性」や「遺伝子レベル」にまで配慮し、周辺自然植生と同様な状態へ急速に復元しなければならない部位とはどのような法面なのであろうか。極論するならば、厳密に考えるならば、自然公園の中の、それも第一種特別地域に限定されるのではないのだろうか(元来開発を行うべき場所ではないため自己矛盾となるが)。少なくとも公園域内の自然度の高い部位が周辺自然植生と同様な状態への復元を速く行うことが必要な箇所と考えることができる。

このような場所に対して、景観的な配慮までも含めて「郷土種」を導入し急速に「自然の回復・復元」を図ろうとする場合は、周辺自然植生構成種より採種し、苗木を造ることまで視野に入れた計画の立案が必要となる。事前に自然の回復・復元について十分な調査・準備を行い、十分な経費をかけ、事に当たらなくてはならない部位と言える。

これと対局に位置する切土法面は、都市部の切土法面と言える。

このような部位に位置する法面は、自然の回復というよりは修景的な側面が強く、人々の憩い・安らぎとなる空間を造成すればよいこととなり、導入植物・法面緑化

手法も「自然回復・復元」とは自ずと異なるものとなる。

その場合は、修景的な観点からワイルドフラワーと称される草花類の導入や、防犯上の見通しの確保のため外来牧草による法面緑化が望まれるかもしれない、ピオトープの名目で森林状の法面植生の造成が必要とされるかもしれない、その要望は多岐にわたるものとなることが予想できる。法面緑化に要求される機能、および経費により導入植物・手法が自ずと定ることとなる。

切土法面の緑化を行うケースとして最も多いものは二次林の中を切開く場合であろうが、この場合は周辺二次林との連続性を確保し景観面(外部景観)に対する配慮が必要となろう。

このような場合、理想的には成長の速い低木苗木などを導入し、または先駆樹種を播種により導入し、低木叢林を造成し法面を被覆し、マント群落としての連続性を確保することが適当と考えられる。そうすると、厳密な意味での「郷土種」を用いる必要性は減じ、国内産「在来種」を用いることで十分とも考えられる。

これが道路法面など外部景観とともに内部景観の造成を必要とされる場合は、車道に近い法尻部は見通しの良さが求められることより、外来牧草などによる低草高の法面植生が必要となり、二次林に続く低木叢林によるマント群落とそれに続く低草高のソデ群落等のゾーニングが必要となるものと考えられる。

しかし、大断面法枠工などを急速に緑化・被覆を図りたい場合や、経費的に安価に仕上げたい場合は、ハギ類による法面緑化工法を用いることが適当となろう。

この場合、外国産「在来種」であるヤマハギを用いることとなり、自然公園域など「遺伝子レベル」にまで配慮しなければならない自然度の高い地域の周辺などでは、エスケープや花粉などによる遺伝子の交雑の恐れがあり、その適用は慎むことが適当と考えられる。

この場合も以上に示したように、法面緑化に希望される効果・目的・目標・経費により導入植物・手法が異なるものとなる。

以上の例に挙げたように、切土法面の緑化の要求は多彩であり、その要求に応じた多様なメニューを組み合わせる許される自由度の高い指針・基準・マニュアル作りが「自然の回復・復元」に対するルール作りと平行して進めることが大切と考える。

このような多様な要求に応えることに、緑化技術者の出番が存在するわけである。

(※余談 遺伝子レベルにまで配慮した緑化、とは具体的にはどのような意味を持つのだろうか、素朴な疑問がある。これまで、様々な文献・諸先生の話聞いたが今一しっくり来るものがない。何か、遠い宇宙の話をしているようで、これもまた物造りを行う上でのイメージがわいてこない。自然保護区のように保護手を付けないでおくべき部位の話であり、我々のタッチする部分とは異なるものとも考えられる。自然保護区のように、

学問的な立場として残す、ということならば理解できる。

遺伝子の話として附に落ちないのは、他との交雑を認めないことである。純粋培養・特定地域内での近親相姦の世界がイメージされる。交雑により強い個体が生れる、劣性遺伝子はいずれ淘汰されると習った記憶があるが、緑化を行う上での遺伝子への配慮はこのような現象を認めず、排除する方向にあると理解できる。この点については、どう考えれば良いのだろうか。現状は群落が分断され一群落の面積が小さくなっているから、外圧が大きく響くとも言っているのであろうか。それならば、ある群落の維持に最低限必要な面積の確保など工学的な対応が可能となるかもしれない、造成により分断された群落の連続性を保つための「緑化・復元」手法の検討が可能となる。このような遺伝子レベルの素朴な話について、どなたかにご教授いただきたいものと考えている。

また、さらに気になることは温暖化のスピードが、植物の移動速度を超えているということである。「自然の回復・復元」を行う場合、このような現実を踏まえ温暖化による植物の移動を先取した方法の検討も必要となるかもしれない。この場合、その土地に元来生存しない遺伝子をもった温暖地の同種や異なった種類の導入を検討することとなるが、この点はいかがなものであろうか?)

#### おわりに 自然回復・復元工学の構築

—自然回復に緑化学がどのように関与できるのか—

#### ※まとめ

以上、長々と述べてきたが、一口で言うならば「自然」、「郷土種」などという物造りを行う「工学」的な観点より定義付けされていない抽象的な言葉を用いて、切土法面に対し「自然の回復・復元」を計画・設計・施工し、検査を受け、維持管理・モニタリングを行うという一連の作業を行うことは不可能である。

「緑化学」を標榜する、当学会こそこのような言葉の定義付け、ルール化、ガイドラインの作成を行うべき任にあるものと考えられ、早急な着手を望むものである。

法面緑化工法の歴史的な展開について俯瞰してきたが、それは土木工事の中の法面保護工として発達してきたものであり、景観的な配慮などから防災面より次第に緑化に対するウェイトを高めてきたという歴史背景を持つ。すなわち、自然回復・遺伝子の問題などと大上段なことを言っても、現在でも法面緑化工は土木工事の一部分なのである。また、土木工事の一部分の法面の保護・緑化を行うことを生業とする一連の業界が支えている経済行為でもある。

従って、土木工事としての制約・桎梏の中でいかに生態学・遺伝子学などのレベルで主張する「自然回復」、「遺伝子の保全」などの諸問題について折り合いをつけていくことができるかという政治的・政策的な側面を持つこ



とは否めない。否、折り合いをつけるための両者の共同作業こそが急務といえる。

すなわち過去から連綿と議論がなされてきた、①物を造ることを優先させるか、②保護を優先するか、③造りながらも保全を行っていくか、の開発工事に対する立脚点の問題である。現在では①より③の方向で進むことが大旨の合意事項となってきたおり、①の開発工事を優先する一時期に比較するならば「生き物」にとっては望ましい方法へと進んできているものと言える。

しかしながら、このような方向へのプッシュは生物多様性条約などの外圧によるトップダウンの形により押し進められているものであり、内発的に形成された合意事項でないことに問題がある。

このため、過去より法面緑化をもっぱらに実施し、「自然回復・復元」を標榜してきた法面緑化工がその風をまともに受けきれぬ状況になく、生き物社会を保全しながら土木として物を造る「工学」という観点の整備が追いつかないまま、すなわち、どのような物造りを行うならば「自然」なのかについての共通的な合意事項が得られてないまま試行錯誤を行ってきたのが現状と考えられる。

「自然の回復・復元」を行うためには、現在まで常識とされてきた「土木」のものの考え方と、「生き物」技術との相互理解を深めていくことが大切と考える。

土木分野は相も変わらず、土木的均一性・直線的思考の枠組みの中で計画・設計・施工・検査に至る一連の流れの中で形成された物事の取り決めを遵守しようとしている。一方「生き物」技術サイドでは自然の「曖昧さ」を残したまま計画・実施することを望んでいる、というよりも土木分野の仕様書・設計書至上主義、mm 単位の数字までの精度を要求する思考で管理を要求されても対応できない場合が多いものとなるためである。逆に「生き物」技術の曖昧さ・ファジーさに対しては、「土木」技術は理解できないしついていけないもの、へたをすれば「ごまかし」とも受け取られてしまう世界となるのである。

このような互いの思考の枠組みの中でのすれ違いが「自然の回復・復元」を考える上で制約となっているも

のと考えられ、両者の歩み寄り、物を作り出すための工学的な観点からの定義づくり、ルール化が必要だと考えられる。

この、言葉の定義作り、技術のルール化は、土木技術とは次元の異なる「生き物技術」を「土木技術」の分野に適応できるように通訳・読み替えるという作業であり、「緑化学」を標榜する当学会こそがその任にもっとも近い位置にあるものと考えられ、早急の着手を切望するものである。

#### 参考・引用文献

- ・日本緑化工協会：「緑化工の歩み 創立 30 周年記念出版」、日本緑化工協会、1995
- ・星子隆：「高速道路法面における木本類の侵入と種子散布様式に関する研究」、日本緑化工学会誌 第 25 巻第 2 号、1999
- ・岩川幹夫：「混播における木本類の成立 (I)・(II)」、治山、1972
- ・日本岩盤緑化工協会技術委員会：「岩盤緑化工 岩盤調査・植生追跡調査 調査要領」、日本岩盤緑化工協会、1986
- ・環境庁自然保護局監修：「自然公園における法面緑化基準の解説」、(社)道路緑化保全協会、1982
- ・日本緑化工学会編：「緑化技術用語辞典」、山海堂、1990
- ・林野庁監修：「自然をつくる緑化工ガイドー緑の再生と創造ー」、(財)林業土木コンサルタンツ、1997
- ・日本岩盤緑化工協会技術委員会：「有機質系吹付岩盤緑化工法・技術資料」、日本岩盤緑化工協会、1984
- ・(社)日本道路協会：「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」、(社)日本道路協会、1986
- ・同 平成 11 年改訂版、1999
- ・(社)道路緑化保全協会技術委員会：「郷土植物の導入に関する実験的研究」、(社)道路緑化保全協会、1979
- ・上杉章雄ほか：「岩質切土のり面を苗木で緑化する工法および導入樹種選定方法について」、(社)基礎地盤学会 地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関する研究委員会、1999



# 生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言

日本緑化工学会※1

## 1. 提言の目的

人間活動は地域の生態系に対してさまざまな影響を与えており、それを修復する手段である緑化の役割は大きい。道路や住宅団地などの建設事業にともなう造成工事、工場や発電所などの産業開発にともなう環境保全、崩壊地や荒廃した森林の復元、都市の中のピオトープの造成など、多くの場面で緑化が求められており、そこにおいては自然保護や生態系の修復などが要請されることが多くなってきている。

その一方で、各地で広範に緑化が行われるようになった結果、緑化植物として導入した移入種が逸出して地域の侵略種になり、在来の植物を駆逐するなど生態系を攪乱する問題が生じている。播種緑化で多用されてきたトルフェスク(オニウシノケグサ)などの外国産牧草類は、河川敷や農地の周辺などに逸出して分布を広げており、荒廃山地の復旧にかつて使われていたニセアカシアは、近年、河川敷の林として見られることが多い。大気汚染などに強いことから1960年代以降に各地で植栽されてきた中国原産のトウネズミモチは、鳥散布種子で分布を著しく拡大してきた。

このような侵略種の問題を避けるために、自生種の利用が試みられているが、その際に国内での種子の供給難などの理由から外国産の種子が利用されることがある。一例としてコマツナギは、日本国内に分布するものと中国大陸に分布するものの学名は同一であり、同じ種であると考えられるが、中国産の種子を導入して緑化に用いると、在来の系統との間で草丈などの形態に明瞭な差がみられる。これは、同一種の中の地理的変異によるものか亜種レベルでの違いによるものかは現状では明らかではないが、いずれにしても厳密な意味での自生種緑化とは言い難いものである。

日本国内に分布する自生種の間でも地理的変異がみられることがある。伊豆大島のトペラと本州のトペラは同種であるが、国指定天然記念物大島海浜植物群落に補植導入されたトペラの葉の形は自生の個体と明らかに異なっていた。このように個体群を相互に移動させると、次第に交雑による形質の浸透が起きることが危惧される。

遺伝子情報は進化の長い歴史の過程で獲得されてきたかけがえのない自然界の遺産であり、遺伝子攪乱は遺伝子の学術的価値と資源的価値を消失させるものであることに配慮しなければならない。

また、植物種の不適切な利用による景観被害は、地域の自然に根をおいた地域文化への影響の問題としてもとらえられることから、緑化植物の扱い方については十分な配慮が求められる。

以上まとめると、生物多様性保全の観点から、(1)移入種の増殖による自生種の生育地消失の問題、(2)移入種と自生種との浸透性交雑の問題、(3)外来の系統の導入による在来の地域性系統の遺伝子攪乱の3つの問題が、緑化の関係者に対して投げかけられている。すべての緑化関係者は、植物の種の問題に無関心でおれない時代となった。

ここでは、これらの問題の解決を目指して、緑化植物の適切な取り扱いについての基本的な考え方を示す。さらに、その具体化のために、植物の供給体制、緑化の計画・設計・施工のあり方まで、総合的な立場から提言を行う。この提言で対象とするのは、開発地、荒廃地、都市緑地などにおける緑化である。農林業における植物の取り扱いは対象としない。

本提言は次のように構成されている。2章では、本提言の理解のために特に重要な用語について定義する。3章では、どのような植物で、どのような地域で、緑化植物の取り扱いに注意すべきか、基本的な考え方を整理する。4章から6章は、実際の緑化事業の流れの中で、生物多様性について配慮していくためには、どの時点で、どのような事柄で注意が必要か、総合的な観点から述べる。7章はそのようなプロセスの中で、必要な評価のあり方について示す。最後の8章では、提言を具体化するために、とくに重要と考えられる関係者の取り組みについてまとめた。

本提言には学問的・技術的に議論が必要な部分を多く含んでいるが、問題の緊急性に鑑み、現状の知見を基礎に急ぎ取りまとめたものである。研究の進展によって、改良が必要な事項も出てくると考えられ、それらについては今後の改訂を期待する。

