

# 海岸防災林の生育基盤盛土造成のためのガイドライン (案)

平成 30 年 3 月

林 野 庁



## 目 次

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第1章 目的及び定義            | 1  |
| 第1節 目的                | 1  |
| 第2節 用語の定義             | 1  |
| 第2章 適用及び運用            | 3  |
| 第1節 適用対象              | 3  |
| 第2節 運用                | 3  |
| 第3節 内容の見直し            | 4  |
| 第3章 生育基盤盛土工について       | 5  |
| 第4章 新規造成              | 6  |
| 第1節 造成地における準備         | 6  |
| 第1項 支障物の除去            | 6  |
| 第2項 盛土地盤の掻き起こし        | 6  |
| 第3項 段切り               | 6  |
| 第2節 盛土材料の選定           | 6  |
| 第3節 盛土方法              | 7  |
| 第1項 使用機械              | 7  |
| 第2項 層数                | 7  |
| 第3項 施工上の留意点           | 8  |
| 第4節 盛土法面              | 9  |
| 第5章 掻き起し・特殊掻き起し       | 13 |
| 第1節 掻き起し・特殊掻き起しの必要性   | 13 |
| 第2節 掻き起し・特殊掻き起しの方法    | 15 |
| 第1項 掻き起し・特殊掻き起しにおける機材 | 15 |
| 第2項 掻き起し・特殊掻き起しの規模    | 16 |
| 第3項 施工上の留意点           | 17 |
| 第6章 滞水対策              | 18 |
| 第7章 生育基盤盛土造成に当たっての対応  | 19 |
| 第1節 固結盤の判断基準          | 19 |
| 第2節 試験方法              | 21 |
| 第1項 使用する試験機材と計測上の注意点  | 21 |
| 第2項 固結盤の有無についての判断     | 22 |
| 第3節 対応の考え方            | 24 |
| 第4節 試験を行う時期           | 26 |



## 第1章 目的及び定義

### 第1節 目的

東北地方太平洋沖地震に伴う津波で被災した海岸防災林の復旧において、津波に対して根返りしにくい林帯を造成する観点から、地下水位が高い場合には、植栽木の根系の健全な成長が確保されるよう盛土を行い生育基盤の造成を行っている。

しかしながら、これまで盛土を行ってから海岸防災林を造成した事例や生育基盤盛土を対象とした調査研究事例は少ないため、植栽木の根系生長と生育基盤盛土の物理特性に関するデータや、生育基盤盛土の施工・品質管理方法等を確立するための知見は十分ではない。また、盛土の物理性不良による湛水の発生や施工時の重機による過度な締固めにより形成される固結層が、植栽木の根系生長に影響を与える可能性も指摘されている。

このような状況の中、事業実施機関においては、東日本大震災以降に被災地等で行われた生育基盤盛土の施工実態等を踏まえた施工・品質管理方法等について検討することが求められている。

このため、生育基盤盛土の材料や施工方法等について情報を収集・整理し、植栽木の現況把握を行った上で、盛土の物理特性と根系生長との関係等について分析した結果を、全国において津波に対して根返りしにくい海岸防災林の造成が推進されるよう海岸防災林造成事業担当者向けに「海岸防災林の生育基盤盛土造成のためのガイドライン（案）」としてとりまとめた。

### 第2節 用語の定義

本ガイドラインで（案）は、以下の用語を定義する。

#### 生育基盤盛土

植栽木の根系に対して地下水面から一定の距離を確保するために造成する盛土。生育基盤とは、植栽木が健全に生存、生育するための土壌そのもの、またそれにより構成される土層をいう。植栽木の健全な生育には、地上部のみならず、地下部も含み、植物の根が支障なく伸長して植栽木全体が支障なく生育できる土壌条件を具備していなければならない。これによって、植栽木の直根・垂下根が発達し、津波に対して根返りしにくくなることが期待できる。

#### 砂質土

森林整備保全事業施工管理基準において指定された規格値に適合した土性を示す生育基盤盛土工材料をいう。

具体的には、日本工業規格 JIS A1204 に準拠して土の粒度試験を行い、その試験結果に基づいて、S（砂土）、SG（礫質砂）、SF（細粒土混じり砂）に区分されるもの。

### **土壌の硬さ（軟らかさ）**

本ガイドライン（案）では長谷川式土壌貫入計で測定する S 値 (Softness)、あるいは SH 型土壌貫入試験機 (3kg 重錘を使用) による貫入量測定値を使用する。ここで、長谷川式土壌貫入計による測定値 (S 値) と SH 型土壌貫入試験機の貫入量測定値は互換性があることから (長谷川 2006)、SH 型土壌貫入試験機の貫入量測定値をそのまま S 値に置き換えることとする。

### **固結、固結層、固結盤**

生育基盤盛土内においてクロマツ根系の成長が制限される土壌の硬さ（軟らかさ）を「固結」と定義し、固結の条件を満たした土壌が深さ方向に厚みをもったものを「固結層」と定義する。さらに固結層が水平方向に連続して広がったものを「固結盤」と定義する。

### **新規造成盛土、植栽済み盛土**

新規造成盛土は生育基盤盛土工の造成完了から間もない時期までの盛土を指す。また、植栽済み盛土は造成後に植栽された盛土を指す。一般的に造成完了後速やかに植栽されるため、造成完了後から植栽するまでの期間の盛土は新規造成盛土に含めるものとする。

### **掻き起し、特殊掻き起し**

新規造成盛土の完了までに行う、原地盤のなじみ層造成、原地盤や盛土層における締め固まった層の破碎を、本ガイドラインでは「掻き起し」と定義し、植栽済み盛土における破碎を「特殊掻き起し」と定義する。いずれもリッパードーザ等によって固結盤を物理的に破碎するなどの行為を指す。

## 第2章 適用及び運用

### 第1節 適用対象

本ガイドライン（案）では、生育基盤盛土工のうち次の各項に該当するものを対象とする。

- ① 砂質土を盛り上げて造成した（これから造成する）もの
- ② 平坦で広い天端をもち、そこにクロマツ苗を植栽した（これから植栽する）もの
- ③ 地表面から2m～3mの深さまで根系成長を期待して造成した（造成する）場合

原地盤等に砂質土を盛り上げて造成した（造成する）盛土を対象とする。また、平坦で広い天端をもち、そこに植栽工を施した（施す）生育基盤盛土を対象とする。近年は、マツ材線虫病への対応あるいは生物多様性の観点から、海岸防災林に広葉樹を導入する事例が見られるが、広葉樹は根系の成長特性がクロマツと異なる可能性があることから、本ガイドライン（案）はクロマツのみによる海岸防災林造成を対象とし、広葉樹には使用できない。津波に対して根返りしにくい林帯とするためには、根系を深さ方向へ十分に成長させる必要がある。このような目的で造成した（造成する）生育基盤盛土を対象としている。

なお、他の樹種を対象とする場合には、当該樹種の特質に合わせて適宜対応するものとする。

### 第2節 運用

防災林造成事業において生育基盤盛土工を実施する場合、治山技術基準（防災林造成編）、同解説、森林整備保全事業標準仕様書、森林整備保全事業施工管理基準及び特記仕様書を基本とするが、必要により、本ガイドライン（案）を参照することができる。

#### 1 治山技術基準等との関連性

防災林造成事業における生育基盤盛土工の施工は、治山技術基準等に則って実行されるものである。このことから、治山技術基準等の趣旨を十分理解した上で、本ガイドライン（案）を活用するものとする。

#### 2 地域特性について

本ガイドライン（案）は、東北地方太平洋沖地震に伴う津波で被災した仙台湾の海岸防災林（造成後3～5年経過）、及び震災前から生育基盤盛土工の実績がある千葉県九十九里浜の海岸防災林（造成後10ないし20年経過）を対象として各種調査を実施し、主としてその結果に基づいて作成したものである。本来ならば全国を調査してさらに汎用性を高めるべきであるが、本ガイドライン（案）はあくまでも方向性を示すものとして作成された。

したがって、実際の施工において地域特性を十分に考慮することが望ましい。

### 3 実績の蓄積

生育基盤盛土工は、技術的な蓄積が少ないことから、施工に当たっては、PDCA サイクルに留意し、各地域に適した工種・工法の把握に努め、より効果的で効率的な事業の推進に資することが望ましい。

### 第3節 内容の見直し

本ガイドライン（案）は、生育基盤盛土工の施工・品質管理の蓄積や、植栽木の生育状況の現況把握等を踏まえ、各地域での適用性及び汎用性をより向上させるため、適宜内容の見直しを行うものとする。

### 第3章 生育基盤盛土工について

生育基盤盛土工は、地盤高が低く地下水位が高い箇所において、盛土により林木の根系、特に鉛直根の十分な発達に必要な生育基盤を確保し、津波等に伴う根返り及び流木化への耐性を高めるとともに、地上部の防災機能を高める森林造成の基礎とすることを目的とする。

- 1 津波や高潮に対して防災機能等の高い森林とは、根系の緊縛力により林木を流失させないことで、保全対象における直接的な被害の発生を防止又は軽減し、地上部が津波等の外力へ抵抗することで津波エネルギーの減殺や漂流物捕捉等の機能を発揮する森林である。
- 2 地盤高が低く、地下水位が高い箇所においては、樹木の根の緊縛力を高め、根返りしにくい林帯を造成する観点から、生育基盤盛土工により、植栽木の生育基盤を確保するものとする。
- 3 生育基盤盛土工の計画に当たっては、本章第2節「調査」の結果を踏まえ、標高・地形・地下水位等の地況、樹種・林帯幅等の林況、周辺における自然環境、保全対象の位置、多重防御の観点での他の防災施設の配置等を総合的に勘案し、施工対象区域を検討する。
- 4 海岸防災林内において生育基盤盛土工を計画する場合、前縁部を残すなど潮害防備や防風等の公益的機能を一度に損なわないようにする観点及び防風工の設置を極力少なくする観点から計画する。
- 5 生育基盤盛土工の厚さは植栽木の根系の十分な発達が確保されるよう、本章2-8「地下水位等調査」で得られた地下水位に、必要な土層厚を加えた地盤高と現況地盤との差とする。なお、現況地盤が粘性土の場合は、盛土による現況地盤の沈下が発生するおそれがあるので、現況地盤の圧密試験の実施により沈下量を検討し、この沈下量を考慮して盛土の厚さを決定する。
- 6 生育基盤盛土工の計画に当たっては、雨水、地下水、津波等による海水等の滞水の防止及び侵食の防止を図るため、必要に応じて生育基盤となる盛土の厚さ、排水工の効果的な配置を検討する。暗きょ工による排水を計画する場合には盛土による屈とうで排水不良を起こさないよう、配置の要否、位置、構造等を検討する。
- 7 生育基盤盛土工は大規模な土地改変となり、周辺環境へ与える影響が大きい工法であることから、その計画・実行に当たっては、周辺環境に配慮した対策を講じる。
- 8 生育基盤盛土工に硬い土壌が確認された場合には、必要に応じて掻き起し又は特殊掻き起しを行い、植栽木の根系の健全な生長を促し、津波に対して根返しにくい海岸防災林の造成に努める。

(治山技術基準解説防災林造成編より抜粋、一部加筆)

## 第4章 新規造成

### 第1節 造成地における準備

#### 第1項 支障物の除去

生育基盤盛土工の施工に当たっては、施工前に施工に支障を与える地物等を除去する必要がある。

#### 第2項 盛土地盤の掻き起こし

生育基盤盛土工に先立ち、盛土地盤の表面をかき起して、なじみよくする必要がある。

特に、地山上に粘性土またはヘドロ状の土（津波堆積土等）を盛る場合、盛土に水が溜まって天端が沈下しやすくなるため、地山の状況が畑の土や道路の岩ズリ等の箇所は、下に海砂が出るまで地山の掻き起こしを行って、盛土天端の乾燥に努めることが望ましい。

#### 第3項 段切り

傾斜地盤に行う場合は、盛土の質、量、断面形状、傾斜程度等を考慮し、適切な幅、深さを有する段切りを行い、盛土と原地盤等の密着を図り、滑動を防止する必要がある。

### 第2節 盛土材料の選定

盛土材料は、指定された土質のものとする。なお、特に指定されない場合は、林野庁森林整備保全事業施工管理基準で指定された基準値（表1）を満たした上で、工事の目的である森林の生育に適したものとする。具体的には、礫含有量が少なく粒径がそろった海砂に近い材料で、飽和透水係数が高いものが望ましい。土壤汚染対策法に定める特定有害物質類による汚染のおそれがないことも必要である。

表 1 盛土材料の基準値

| 試験区分 | 試験項目     | 試験方法                 | 試験対象 | 規格値                        | 試験基準                                          |
|------|----------|----------------------|------|----------------------------|-----------------------------------------------|
| 必須   | 土の粒度試験   | JISA1204             | 盛土   | 砂質土(S:砂、SG:礫質砂、SF:細粒分まじり砂) | 当初及び土質の変化時に1回                                 |
|      | 土壌pH     | JGS-0211に準拠(地盤工学会基準) | 同上   | 4.0～8.0pH                  | 同上                                            |
| 選択   | 電気伝導(EC) | JGS-0212に準拠(地盤工学会基準) | 同上   | 1.0mS/cm 以下                | 当初及び土質の変化時に1回<br>津波堆積土等の塩類障害が懸念される盛土材料を使用する場合 |

注) 森林整備保全事業施工管理基準より抜粋

表 2 盛土材料の品質規格(例)

| 種別  | 項目    | 評価指標      | 単位   | 測定方法   | 基準値                      |
|-----|-------|-----------|------|--------|--------------------------|
| 物理性 | 透水性   | 飽和透水係数    | cm/s | 透水試験   | 10 <sup>-4</sup> 以上      |
|     | 硬さ    | 礫含有量      | g/kg | 篩い分け秤量 | 200以下                    |
| 化学性 | 電気伝導率 | 電気伝導度(EC) | dS/m | ECメータ  | 0.5以下(砂質土)<br>1.0以下(その他) |
|     | 酸度    | pH        | -    | ガラス電極法 | 5.6～6.8 良<br>(4.5～8.0 可) |

注) 仙台森林管理署特記仕様書より抜粋

### 第3節 盛土方法

生育基盤盛土工の表層部は植栽木の根系の発達に影響があることから、過度の締固めを行ってはならない。盛土造成時に軟かく盛ることに配慮が行き届いていたかどうかによって、土壌の硬さ(軟らかさ)に違いが生じることに留意する必要がある。(事例紹介2の3参照)

#### 第1項 使用機械

重機の走行や敷均しにより盛土表層近くに硬い土層が生じるため、接地圧の低い機械を使用して走行回数を極力減らすことが重要である。(事例紹介2の1参照)

#### 第2項 層数

機械の走行回数が少ないほど盛土材料への負荷が少ないことは明らかであり、施工性も考慮すれば一層で盛り立てた方が効果的であるため、層数は一層で盛ることを基本とし、

軟かく盛ることに配慮する（事例紹介 2 の 3）。これまでの実績については事例紹介 1 を参照。

### （事例紹介 1）一層盛りの施工事例

| 施工地  | 仙台7工区_掻起（民有林）                                                   | 岩沼7工区_東                                      |
|------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 請負者  | A社                                                              | B社                                           |
| 施工年度 | H26                                                             | H26                                          |
| 盛土高  | 搬入土1.4m、地山1.0m、（地下水位+2.4m、地下水位=TP+0.8m）                         | 搬入土2.4m、（地下水位+2.4m、地下水位=TP+0.3m）             |
| 使用機械 | バックホー0.45m <sup>3</sup> （コマツPC120）<br>接地圧0.42kg/cm <sup>2</sup> | ブルドーザ（コマツD65）<br>接地圧0.35kg/cm <sup>2</sup>   |
|      | バックホー（コマツPC200）<br>接地圧0.45kg/cm <sup>3</sup>                    | ブルドーザ（キャタピラーD7）<br>接地圧0.44kg/cm <sup>2</sup> |
| 層厚   | 1.4m                                                            | 2.4m                                         |
| 層数   | 1層（一気に仕上がり高まで盛土）                                                | 1層（一気に仕上がり高まで盛土）                             |

### 第3項 施工上の留意点

生育基盤盛土工の施工に当たっては、以下の事項に留意することが望ましい。

#### 盛土材の搬入

- 盛土下層においてはダンプの往来回数が土壌硬度に影響するため、盛土造成地への出入口を多く設けて下層におけるダンプの走行距離を軽減する。
- 地山が海砂の場合、ダンプの走行性能を向上させるために、事前に地盤の整地、礫を含む基盤材の敷設（厚さ 30 cm）、締め固めを行うことがあるが、ダンプの走行後に掻き起こしを行っておく。
- 盛土材の搬入には、走行回数を減らすためにアーキュレートダンプトラック等を使用し、走行して締め固まった箇所は掻き起こしを行う。

#### 盛土天端の敷き均し

- 天端面は排水に留意して平坦となるように施工する。
- 敷き均しには接地圧の低い湿地ブルドーザ等を用いる。
- 天端において重機を走行させる場合は、土壌硬度の抑制のために走行回数の軽減に努める。

#### 表層の掻き起し

- ロータリーテイラー等で表層の掻き起しを行う場合は、自重で盛土を締め付けないように引きながら掻き起こす。
- 重機が多く走行した天端は硬くなるため、走行箇所はバックホー、トラクター、リッパー等の重機でほぐしておく。

#### 資材運搬車両の走行

- 防風柵の運搬には運搬能力は高いはキャリアダンプ（特装車）が適しているが、自重により盛土が締め固まるおそれがあるため、接地圧の低いバックホー等の使用を検討する。
- 防風柵の設置の際にバックホーや特装車が往来し、土壌硬度に影響を与えることが懸念されるため、重機の走行回数を減らすことに努める。
- 盛土端部の防風柵は盛土範囲外から直接搬入が可能であるが、中央部の防風柵は盛土範囲内にバックホー等を走行させて搬入する必要があるため、盛土範囲への出入口を盛土の規模に応じて複数設けてバックホー等の走行回数を減らし、盛土の締め固まりの軽減に努める。

#### 新規造成盛土における生育基盤厚さの確保

- 津波に対して根返りしにくい海岸防災林を造成するため、生育基盤の厚さを 2～3 mとすることを理想とし（表 4）、1.5～2.0mを確保することが望まれる。
- 盛土厚が目標とする生育基盤厚さ未満で、さらに原地盤等が基準を満たせない硬さの場合は、原地盤等を掻き起したあとに一層盛りを行い、掻き起した層の厚さと搬入土の層厚の合計が目標とする生育基盤厚さ以上になるよう検討する。また、掻き起した原地盤等はその後の一層盛りの作業で固くならないように配慮する。（事例紹介 2 の 4 参照）
- 原地盤等をリッパードーザ等で掻き起した後に一層盛りを特に接地圧の小さい湿地ブルドーザで行うことにより、一層盛りで目標とする生育基盤厚さの盛土厚を確保することも可能であることから、このことについても検討する。

### **第 4 節 盛土法面**

生育基盤盛土工ののり面は、土羽打ちを行い、所定の勾配に仕上げるものとする。のり面の侵食防止を図るための緑化工については、山腹工（伏工等）に準ずるものとする。

## （事例紹介 2）生育基盤盛土造成時における施工上の注意点

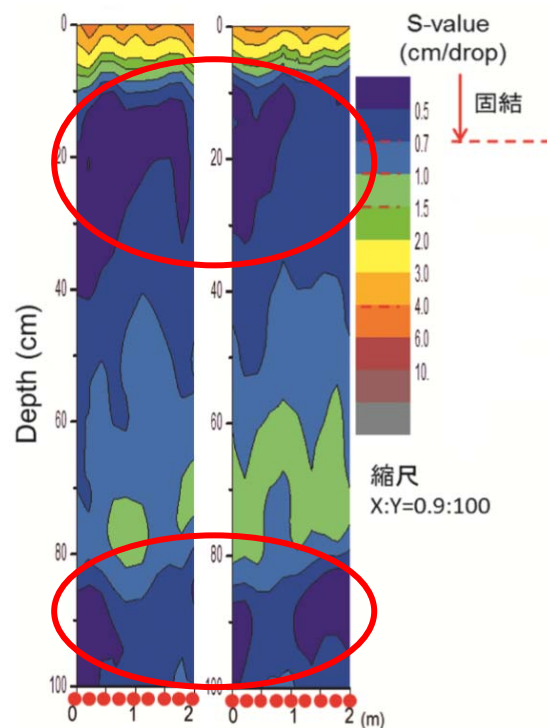
### 1. 固結盤が生じる原因と重機を使用する際の注意点

盛土造成時におけるブルドーザ等による地均しや重機の走行による圧密によって、土壌が固くなったことが主要な原因と考えられる。圧密による固結盤の発生を防ぐには、接地圧の低い重機を使用し、かつ極力重機の走行回数を少なくする必要がある。長谷川・猪俣（2015）によると、通常の転圧を行って 1m の厚さで造成した砂壤土（砂を主体に 25% 以下の粘土を含む土壌）による盛土は、全層に亘って S 値が 0.7 cm/drop 以下になったが、一切転圧せずに造成した場合は S 値が 0.7 cm/drop 以下のところは発生せず、ほとんどが 1.0 cm/drop 以上であった。また、重機の走行回数と盛土の硬さ（軟らかさ）との関係においては、1 往復走行した場合、2 往復走行した場合のいずれも表層 25cm 程度の範囲の S 値が低下したが、1 往復の場合は S 値が 0.7 cm/drop を下回ることがなかった。

重機の種類、接地圧、土質によって結果は異なると考えられるが、重機を走行させないこと、あるいは走行回数を減らすことが重要である。

### 2. 土層の硬さ（軟らかさ）と透水性について

降水があると一部は表面流となり、一部は盛土内に浸透する。盛土内に透水性の悪い場所があると、浸透した水が移動しきれず、盛土内に水が溜まることがある。このような状態がある程度の時間続くと、滞水した部分の根系が枯死する。土壌の硬さが低い（軟かい）土壌は土壌粒子間の空隙が大きく透水性が高い傾向があると考えられる。したがって、本ガイドライン（案）では盛土の硬さ（軟らかさ）に焦点を当てたものではあるが、ガイドライン（案）に従って軟かく仕上げることによって同時に透水性も向上させられると考えられる。



複数の層で造成した場合の土壌の硬さ分布（小野ら（2016）の一部を改変して作成）

### 3. 盛り上げ方について

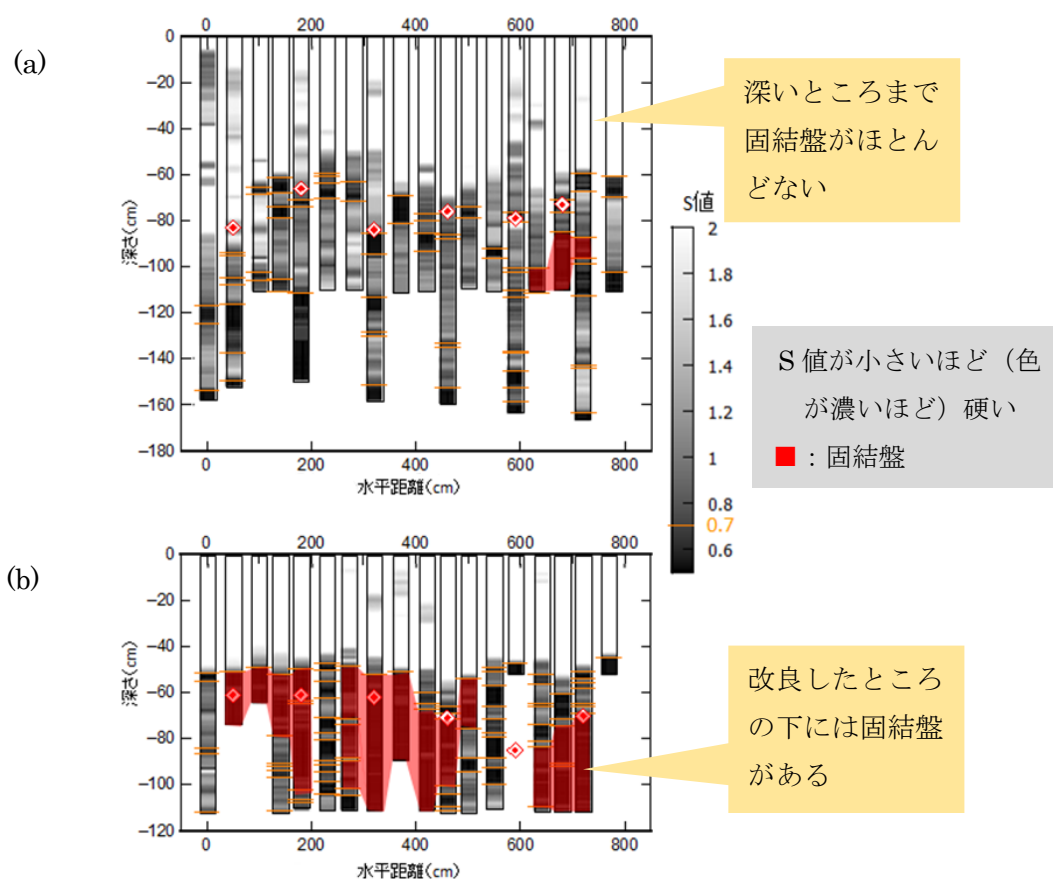
＜複数の層で盛土を造成した場合＞

複数の層を積み重ねるように造成した盛土には硬い土層が複数見られることがある（上図の赤丸で囲ったところ）。これは、運土～整地の作業が何回かに分けて行われ、各作業時におけるその時の盛土地表面に、その都度圧密された硬い土層が形成されたものと考えら

れる（小野ら 2016）。このように複数の固結盤が生じた場合は、最も深い固結盤まで掻き起しを行う必要がある。

#### <一層で盛土を造成した場合>

一層で盛り上げ、最後に地表面の掻き起しを行った事例を下図(a)(b)に示す。下図(a)には固結層はあるが固結盤はほとんど形成されていない。また、造成時には敷き均し等によって地表面付近に硬い土層が形成された可能性はあるが、地表面の掻き起しによってその影響は見られない。下図(a)は植栽木の根系成長に条件の良い盛土が造成された事例である。一方、下図(b)は同じく一層で盛ったあと掻き起した事例であるが、50cm よりも深いところに固結盤が広範囲に発生していた。(a)と(b)の土質と施工方法に違いはなく、(a)の事例が深いところまで軟かく造成されたのは、砂を盛るときに圧密させない配慮が十分で、(b)の事例は砂の圧密を防ぐ配慮が不十分だった可能性がある。敷き均し等で固結盤が地表面付近に生じたとしても、掻き起しによって軟かい状態に改良できることから、砂を盛り上げる際に軟かく盛る配慮を十分に行うことが、固結盤の無い盛土を造成するために重要である。



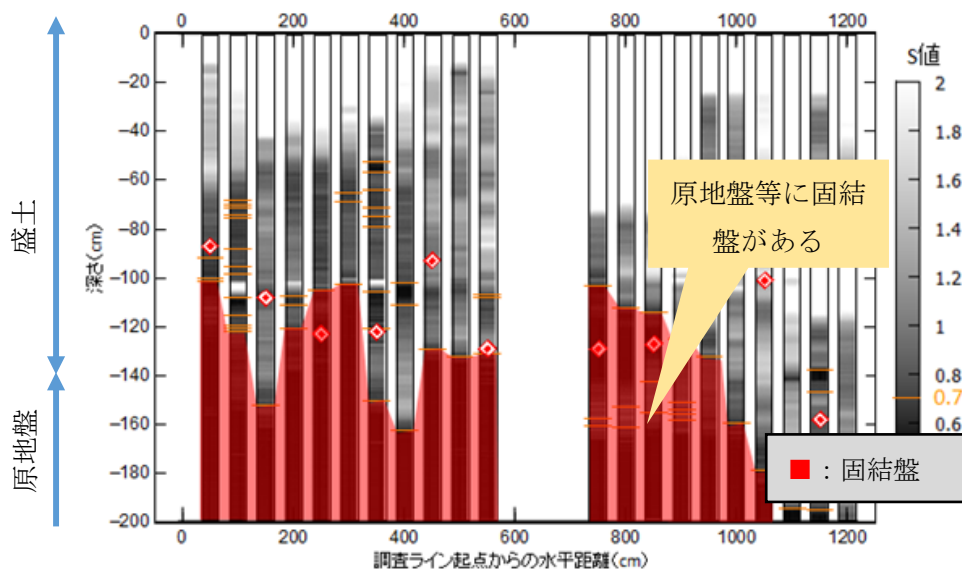
一層で盛った場合の土壌の硬さ（軟らかさ）の分布

柱状の濃淡がそれぞれ SH 型貫入試験機及び長谷川式土壤貫入計による計測値を濃淡で表したものである。赤い塗りつぶしは固結盤を表している。

#### 4. 原地盤等について

地下水位から盛土表面までの距離を確保して深さ方向の根系成長を促す場合、多くは原地盤等と盛土で目標とする距離を確保することになる。そのため、盛土部分を固結盤がないように軟らかく仕上げたとしても、原地盤等に固結盤が出現してしまう場合がある。下図はそのような事例であり、原地盤等の掻き起しを行わずに盛土を行ったため、盛土部分に固結盤はないが原地盤等に固結盤が見られ、目標とする生育基盤厚さまで根系の成長を確保する場合は原地盤等の掻き起しが必要と考えられる。

このような事態を防ぐには、盛土を行う前に原地盤等の試験を実施し、固結盤を確認したときは原地盤等を掻き起してから盛土を行う必要があると考えられる。



原地盤等の掻き起しを行わずに盛土した例

## 第5章 掻き起し・特殊掻き起し

### 第1節 掻き起し・特殊掻き起しの必要性

生育基盤盛土工の盛土材料は、施工時の敷均しのための重機の走行により締め固められる。また、施工後は経年に伴う自然圧密により締め固められる場合がある。一方、根系は土壌が硬いと伸長が阻害され、一般的には山中式土壌硬度 27 mm、あるいは長谷川式土壌硬度 S 値 0.7 cm/drop が限界とされている。

このように締め固められて硬くなった土壌は、必要に応じて重機等で破碎して軟らかくする必要があり、破碎による掻き起し・特殊掻き起しの効果は明らかとなっている（事例紹介3）。また、掻き起し・特殊掻き起しの効果は、造成後間もなくは低減するが、その後は長期に亘って持続することが分かっている。

締め固まった土壌の破碎は生育基盤盛土工の造成時に行う場合と植栽後に行う場合がある。生育基盤盛土工を新規に造成した場合、天端の敷き均しのために重機が走行すると盛土の表層部分（深さ 0.5m 程度まで）が締め固められて硬くなることがある。この場合、樹木を植栽しても根系の健全な伸長が阻害されるおそれがあることから「掻き起し」を行うこととなる。また、植栽後に何らかの要因で硬くなった土壌が見出された場合、根系の伸長を妨げるので「特殊掻き起し」を行う必要がある。

このように土壌の物理性（硬さ）を改善することが掻き起し・特殊掻き起しであるが、植栽済み盛土において特殊掻き起しを必要とする箇所が多数見受けられた場合には、植栽木の根系の伸長を促進させるために根返りを最も避けるべき箇所として背後の保全対象の重要性等を勘案し、優先順位を設定した上で順次特殊掻き起しを実施していくことが望ましい。

なお、掻き起し・特殊掻き起しの必要性の判断は、「第7章 生育基盤盛土造成に当たったの対応」によるものとする。

### （事例紹介 3） 掻き起しの効果

掻き起しに使われるほとんどの機材は刃状のものを土中に差し込んで引きずるか、バケットで掘り返すことによって盛土表面を軟かくするものである。刃やバケットの到達深度まで十分な物理矯正効果が認められており、耕起工は土壤物理性改善に効果的である（小野 2016）。実際に掻き起しが行われた生育基盤盛土で計測された土壤の硬さ（軟らかさ）分布の計測例を次に示す。

60cm 程度の深さまで十分に軟かく改良されている様子がわかる。刃と刃の間に S 値が 0.7 cm/drop 以下の部分が残されているが、水平方向の連続性は断ち切られており、本ガイドライン（案）では固結盤と判定されない。

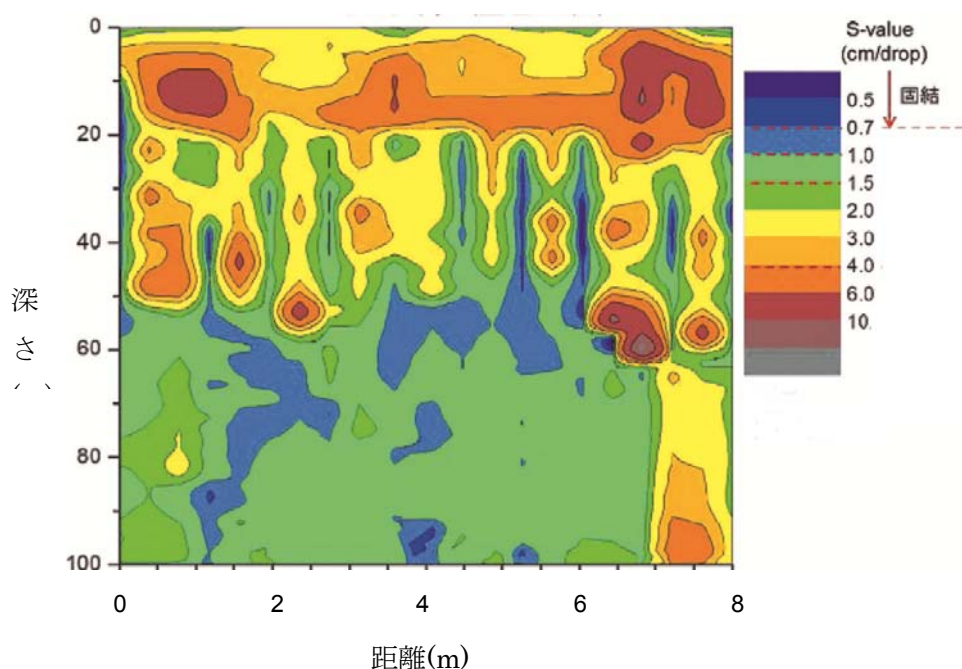


図 農業用プラウとサブソイラで表面を掻き起したときのある断面における土壤の硬さ（軟らかさ）分布の計測例（小野ら 2016）

## 第2節 掻き起し・特殊掻き起しの方法

### 第1項 掻き起し・特殊掻き起しにおける機材

生育基盤盛土に固結盤がある場合には、耕起して固結盤を物理的に破碎し土壌を軟らかくしなければならない。生育基盤盛土の土層厚は場所によって異なり、固結盤が出現する深さもまちまちである。そのため、固結盤の出現深さに応じて、固結盤に到達可能な機材を使用する（表3、図1）。

表3 機材ごとの一般的な耕起可能な最大深

| 種類          | 耕起可能な最大深(m) | 備考                   |
|-------------|-------------|----------------------|
| ロータリートラクタ   | 0.3         |                      |
| プラウ         | 0.4         |                      |
| プラソイラ       | 0.6         |                      |
| グロースガン      | 0.6         |                      |
| サブソイラ       | 0.7         |                      |
| スケルトン式バックホー | 1.0         |                      |
| リッパードーザ     | 1.2         |                      |
| トレンチャー      | 1.5         |                      |
| ミニバックホー（小）  | 1.5         | 植栽列間に入れるサイズ*         |
| ミニバックホー（中）  | 2.5         | 1列伐採した後に植栽列間に入れるサイズ* |
| 一本爪リッパ      | 2.5         | ミニバックホー（中）を想定した値     |

\*5000本/ha植栽（植栽列間隔1.4m）を想定



スケルトン式バックホー



プラウ



リッパードーザ



サブソイラ

図1 機材の例（小野ら 2016）

## 第2項 掻き起し・特殊掻き起しの規模

### (1) 深さ

本ガイドライン（案）は、津波に対して根返りしにくい海岸防災林の造成を目的としていることから、掻き起し・特殊掻き起しの対象となる土層深は、生育基盤の厚さ全体（2～3m）とすることが望ましい（表4）。しかし、使用する機械に制限があること、植栽済みの箇所では植栽木が支障となることなどを考慮すると、根返りする可能性が低いとされる1.5～2.0mを目標とし、1.5m程度の範囲を改良することが望まれる。

造成完了時は、土層が硬くなっている場合でも表層部分だけなので、深さ0.5m程度の掻き起しで済む場合が多い。また、植栽済みの場合は、土壌硬度試験の結果に応じて深さを決めることが望ましい。

表4 生育基盤厚さと津波耐性等との関係

| 生育基盤<br>厚さ | マツを中心とした樹木の生育と<br>津波耐性（傾き・根返り、流失）                                                                                                             | 生育基盤厚さの<br>選択条件                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 0 ～ 0.5 m  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・根系が健全に生育することが困難</li> <li>・砂地盤であれば地震動で液状化、また地盤沈下の影響が考えられ、津波による傾き</li> <li>・根返りや流失の危険性が非常に高い</li> </ul> | 盛土をすべきであるが、特に重要な自然環境の保全を部分的に考慮する場所では盛土をしない選択が可能 |
| 0.5 ～ 1 m  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ある程度の樹高まで生育可能</li> <li>・津波による傾き・根返りや流失の危険性が高い</li> </ul>                                              | できる限り盛土した方がよい                                   |
| 1 ～ 1.5 m  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・対象地の最大樹高程度まで健全に生育する</li> <li>・津波により傾き・根返りする可能性がある</li> </ul>                                          | できれば盛土した方がよい                                    |
| 1.5 ～ 2 m  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波により傾き・根返りや流失する可能性は低い</li> </ul>                                                                     | 根返りを防止する目標であれば、この範囲での選択が可能                      |
| 2 ～ 3 m    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・樹木の幹折れについては、津波の流体力や津波を受けた林帯条件、単木の樹齢、樹形、直径、形状比等との関係もあるので、生育基盤厚さだけでは判断できないが、津波耐性は高い</li> </ul>          | 特に対応の必要なし                                       |

注）治山技術基準解説防災林造成編より引用

### (2) 幅

盛土造成完了時の植栽前なら全面的に改良することができ、改良の幅に制限はない。

一方、植栽済み盛土は植栽木の直下を改良することは不可能なため、植栽列間を改良して水平根からの垂下根が伸長することに期待する。ただし、改良する範囲に植栽木の根系が観察されない場合は、観察されるまで幅を広げて改良する。

改良範囲を植栽木に近づければ、軟らかい土壌が増えて伸張してきた根の成長には望ましいが、逆に近づけすぎると植栽木の既存の根を損傷する危険性が増す。したがって、植栽木の大きさに応じて残存根量に留意した上で改良範囲を決定し、多少根系を損傷しても植栽木が健全に成長できるように配慮しなければならない。

植栽間隔が 1.4m（植栽密度 5,000 本/ha）の場合は、植栽列間にミニバックホー（全幅 700 mm）を進入させて土壌を改良することが可能である。改良幅は 0.8m とすれば両側の植栽木との距離を 0.3m 確保でき、根系の損傷も最小限に抑えられる。一方、植栽間隔が 1.0 m（植栽密度 10,000 本/ha）の場合は、ミニバックホー等の機械の旋回範囲を考慮すると植栽列間に進入させることができず、現実的に困難であるため本数調整時に行うことを検討することが望ましい。

### （３）間隔

各植栽列間で特殊掻き起しを行うと、植栽間隔 1.4m、改良幅 0.8m の場合、植栽木が成立する未改良部分の幅は 0.6m で極めて不安定となるため、植栽列で 1 列おきに改良するものとする。

## 第３項 施工上の留意点

- 掻き起し・特殊掻き起しを実施する際、最も問題となることは機械の走行により土壌を締め固めるおそれがあることである。したがって、掻き起し・特殊掻き起しの際はなるべく接地圧の低い機械を用いるとともに、後退しながら改良ができる機械を選択することが望ましい。
- 植栽済み箇所では植栽木との接触を避けるために小型の機械を用いることとなるが、機械の全幅だけでなく旋回に必要な範囲も考慮し、植栽木を損傷しないように配慮しなければならない。
- 掘削土砂を仮置きする場合、植栽済み盛土では植栽木が支障となるが、掘削土砂で植栽木に損害を与えないように配慮する必要がある。バックホーで後退しながら掘削する場合は、最初だけ掘削土砂を改良範囲の脇に仮置きすれば、その後は一つ前の過程で掘削した箇所に次の掘削土砂を置いていけば植栽木に損害を与えないで済むほか、埋め戻しの手間も省くことができる。
- 植栽済み箇所の特殊掻き起しの場合、特殊掻き起しの時期としては植栽木の成長を踏まえると春先が望ましい。春先は樹木の生長が著しく、細根が最もよく発生する時期である。この時期に特殊掻き起しを行えば、根系は損傷するものの、細根の発生が促されて活着がよくなることが期待される。
- 特殊掻き起しにおいては植栽木の樹齢に関する制限はないと考えられるが、特殊掻き起しの効果や作業性を考慮すると、あまり年数が経過しないうち速やかに実施することが望ましい。

## 第6章 滞水対策

盛土内に滞水が発生している場合、またはそのおそれがある場合は、必要に応じて排水対策を講じる。対策工は主として素掘り水路工とし、必要に応じて小水路、暗渠工等を設置することが望ましい。

素掘り排水工の施工には自重の小さいミニバックホー等を用い、盛土が締固まらないように留意する。また、盛土表層の掻き起し前に実施し、排水工施工の残土を余盛りとして周辺の天端に散らす場合には、天端面は排水に留意して平坦となるように注意する。

なお、素掘り排水工は幅 0.5m、深さ 0.3m、小水路は幅 0.1m、深さ 0.1m程度を標準とし、小水路には必要に応じて勾配を付けて素掘り排水工と直角に接続させるものとする。

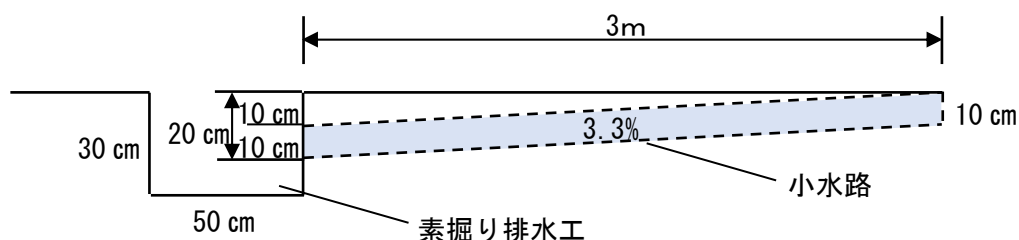


図2 素掘り排水工及び小水路の断面図（例）

必要に応じて素掘り排水工のほかに暗渠工（縦暗渠、横暗渠）を施工し、盛土内の滞水を盛土外へ導水することが望まれる。ただし、土砂の流入により目詰まりを起こして徐々に効果が減少する場合もあるので注意が必要である。



写真1 縦暗渠



写真2 横暗渠

## 第7章 生育基盤盛土造成に当たっての対応

### 第1節 固結盤の判断基準

施工時における土壌の硬さ（軟らかさ）の基準については、森林整備保全事業施工管理基準「26 生育基盤盛土工」に、長谷川式土壌貫入計の場合は 1.0 cm/drop 以上と示されており、クロマツだけではなく全樹種に適用することから、クロマツのみによる海岸防災林を対象としている本ガイドライン（案）も規格値は「1.0 cm/drop 以上」とする（表 5）。ただし、土壌硬度試験の結果によっては、規格値以下であっても固結層の水平方向の連続性を考慮して固結盤と判断しない場合があるものとする。

樹木は、成長可能な方向、あるいは資源獲得に有利な方向へと選択的に根を伸長させると考えられる。したがって、局所的な固結層があったとしても根系を回りこませることが可能であり、根系の成長には影響しないと考えられる。したがって、本ガイドライン（案）では、固結層が水平方向に連続した広がりをもつかどうかを、固結盤の有無の判断基準とする。そのため、固結盤の判断基準は固結層の基準と連続性の基準とからなり、両方に同時に抵触した場合を固結盤と判断する。

#### 固結盤とする判断基準

固結層と連続性の基準に同時に抵触した場合を固結盤とする。

（固結層の基準）

土壌の硬さ（軟らかさ）を表す数値である S 値と層厚の組み合わせで表し、S 値 0.7 cm/drop 以下の土層が 10 cm 以上鉛直方向に連続する場合を固結層の基準とする。

（連続性の基準）

生育基盤盛土上の任意点を中心とする半径  $L/2$ （ $L$ ：植栽間隔）の範囲に、水平方向に連続する場合。

連続性の基準の考え方を以下に記す。ある間隔（ $L$ ）で植栽された場合、ある植栽木が根系を成長させやすい空間は、隣の植栽木までの距離の  $1/2$  を半径とする円を深さ方向に重ねた円柱状の空間と考えられる（図 3）。円柱状の空間に固結層が半径  $L/2$  の範囲全体で連続していた場合、根は固結層を通過できない。しかし、半径  $L/2$  の範囲に固結層が部分的にあったとしても、不連続であれば相対的に硬くない部分を通過することによって根は深く成長できると考えられる。なお、複数の計測点で土壌の硬さ（軟らかさ）を計測して S 値の鉛直分布を比較したとき、固結層が同じ深さにみられた場合は、その固結層が計測点間で連続していると判断する（図 4）。ただし、図 4 は連続性の基準の考え方の基となっている試験範囲の設定根拠を模式的に示したものであり、試験を行う際は植栽木を中心にする必要はなく任意の点を中心に試験範囲を設定する。

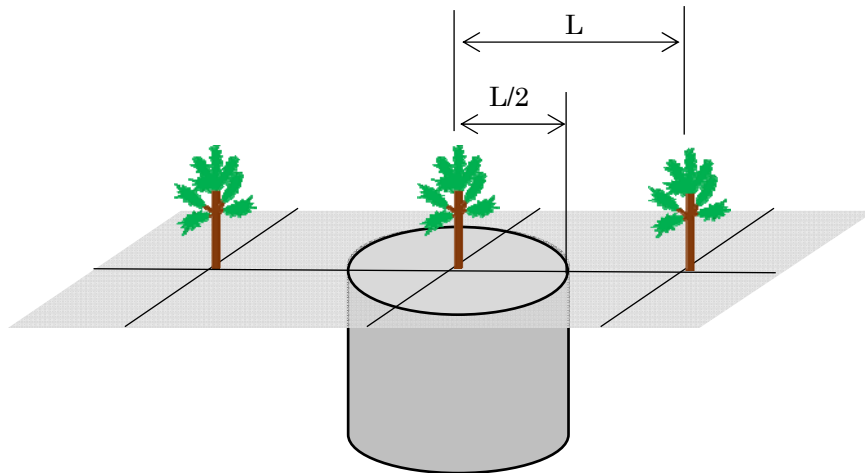


図3 植栽木が根系を成長させやすい空間の概念図

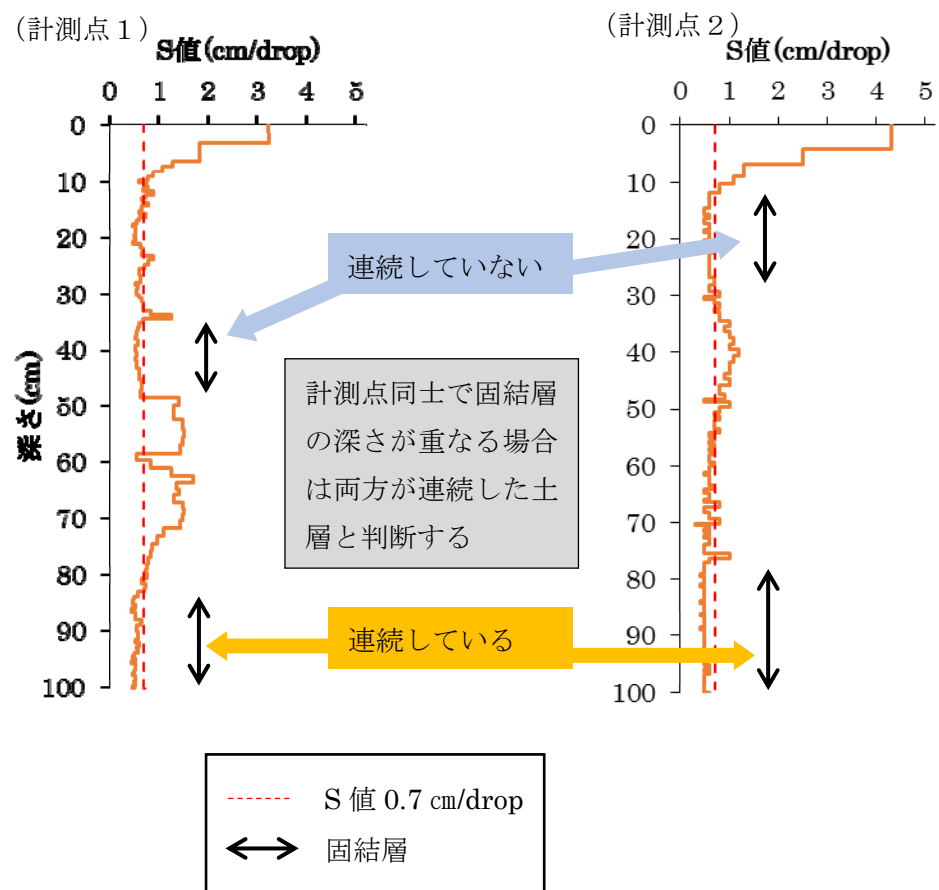


図4 固結層の連続性の判定方法

## 第2節 試験方法

### 第1項 使用する試験機材と計測上の注意点

試験は 2500m<sup>2</sup>につき 1 地点で行う。施工状況等により必要に応じ地点数を増やす。試験する土層厚が 1m 以内の場合は長谷川式土壌貫入計もしくは SH 型貫入試験機を用い、土層厚が 1m を超える場合は SH 型貫入試験機を用いる。SH 型貫入試験機は長谷川式土壌貫入計による S 値と互換性を保つため 3kg 重錘のみを使用し、そのときの貫入量をそのまま S 値に読み替える。

新規造成の場合は一層で盛ることを基本とする。試験に当たっては、盛土の表層に近いところに重機の走行や敷き均しによる固結盤ができる可能性があり（事例紹介 2）、かつ表層を除けば盛土内は均質と考えられることから、盛土表面から 1m までを試験対象とする。試験の結果、試験対象よりも深い土層まで固結盤が続いていると予想された場合（図 5）は、原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さまで試験を行って固結盤の分布範囲を把握した場合には、最も深い固結盤を含む範囲まで掻き起しすることを検討する。礫や固結盤によって貫入不能な場合には試験場所を変えて、試験対象深度に到達するまで行うことを基本とするが、排水を促す目的等で礫を下層に敷いた場合は礫層までを試験対象とする。なお、複数の層で新規造成せざるを得なかった場合は、層ごとに 1m の深さまで試験を行い、一層で盛る場合と同様に掻き起しの要否と改良範囲を決定する。

植栽済み盛土の場合は盛土内の均質性が必ずしも確保されているとは限らないため、原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さまでを試験対象とすることを基本とする。礫や固結盤によって貫入不能な場合には試験場所を変えて、試験対象深度に到達するまで行うことを基本とするが、排水を促す目的等で礫を下層に敷いた場合は礫層までを試験対象とする。

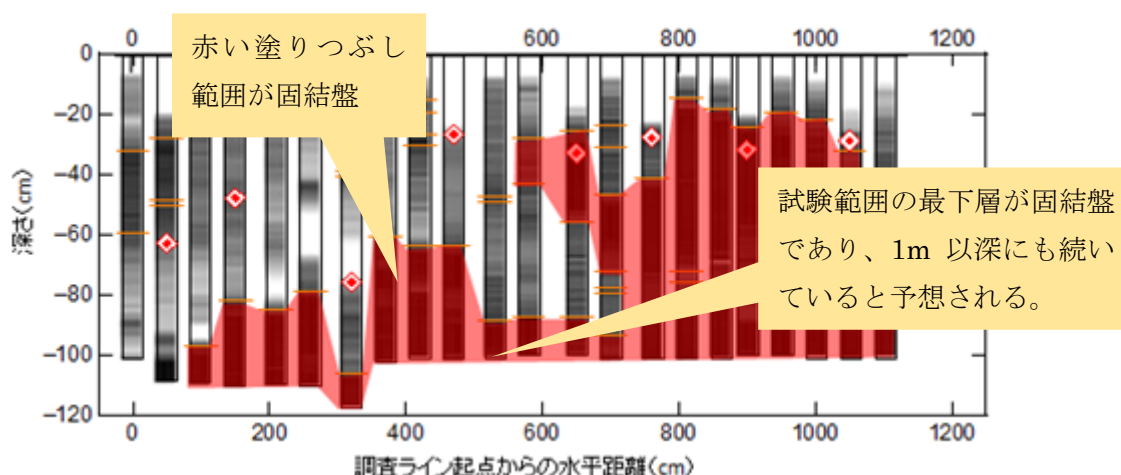


図5 固結盤が試験範囲よりも下層に続いていると予想される

## 硬さ（軟らかさ）分布の例

### 試験方法

（機材）

長谷川式土壌貫入計（深さ 1m まで）または SH 型貫入試験機（深さ 5m まで）

（試験対象）

新規造成盛土の場合は地表面から 1m を基本とする。

植栽済み盛土の場合は地表面から原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さに達するまでを基本とする。

（試験頻度）

2500m<sup>2</sup>につき 1 地点で行うことを基本とする。

## 第 2 項 固結盤の有無についての判断

半径  $L/2$ （ $L$ ：植栽間隔）の範囲において、全層にわたって固結層が出現しない計測点が 1 地点以上確認された場合、あるいは個々の計測点に固結層が確認されたとしても、水平方向に不連続な計測点が 1 地点以上確認された場合は固結盤と判断しない。

固結盤の有無を判断するための具体的な作業は次のように行う。

- (1) 生育基盤盛土上の任意の計測点で計測を行う。一度の計測で固結盤の有無が判断できない場合は、その計測点を中心に半径  $L/2$  以内で場所を変えて計測を行い、(2)以降の手順へ進む。ただし、複数回の計測を行う場合は、計測点同士の間隔を 0.25m 以上あける。
- (2) 計測点ごとに深さ方向の  $S$  値分布を求め、固結層の出現位置を特定する。固結層が複数存在する場合があるので、試験対象の盛土厚全体を対象に計測する。
- (3) すべての計測点において(2)の作業を行い固結層の出現位置に重なりがある場合、計測点間で土層が連続していると判断する。固結層がすべての計測点間で連続しているとき、その土層を固結盤と判断する。

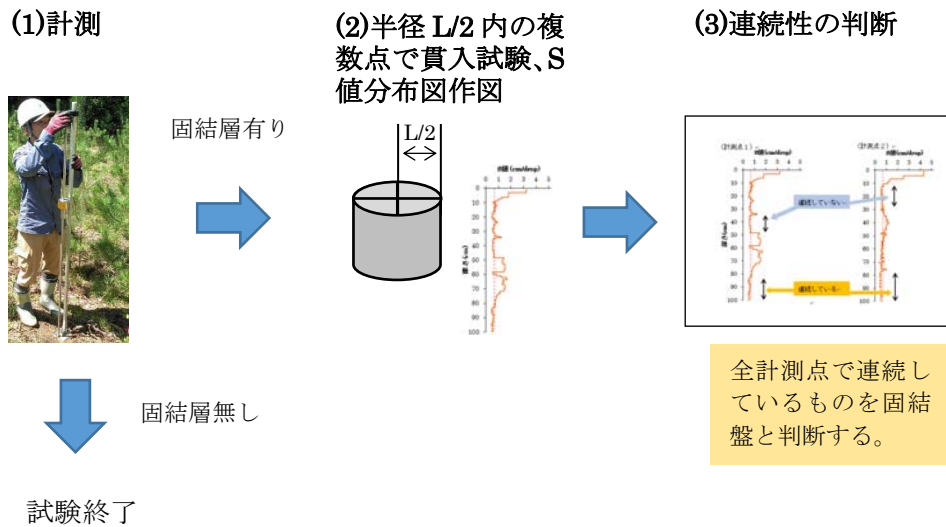


図 6 固結盤の有無を判断する手順

表 5 土壌の硬さ（軟らかさ）に係るガイドライン（案）の基準値

| 区分                  | 規格値                          | 試験基準                                                                                  | 摘要                                                                                                                                       |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ガイドライン(案)<br>(クロマツ) | 長谷川式土壌貫入計：<br>1.0 cm/drop 以上 | 原則として、盛土の完了時に行う。<br>試験は、2,500 m <sup>2</sup> につき 1 地点で行う。<br>施工状況等により必要に応じて試験回数を増減する。 | 地表面から深さ 1 m 連続して測定を行う。<br>規格値以下であってもすべてを固結盤と判断するのでなく 0.7 cm/drop 以下が 10cm 以上鉛直方向に連続した固結層が水平方向に半径 $L/2$ ( $L$ ：植栽間隔) の範囲で連続する場合を固結盤と判断する。 |

### 第3節 対応の考え方

#### 判断1 植栽済みか新規造成か

##### 植栽済みか新規造成かに関する判断

対応決定フローチャートにおける位置：判断1

新規造成の場合：判断1－N1へ

植栽済みの場合：判断1－Y1へ

新規造成の場合、工程を区切って適宜試験を行うことによって、固結盤が生じてしまった場合の掻き起しの範囲を限定できる。一方、植栽済み盛土に固結盤が生じていた場合は、固結盤の発生した深さに応じて特殊掻き起しのための機材の選択が必要であり、また植栽木の生育状態によっては将来の本数調整後に特殊掻き起しを行うなどの対応が必要になる。このように、新規造成か、植栽済みかによって対応が大きく異なる。そのため、最初に、植栽済みか新規造成かに関する判断を行う。なお、植栽済みの場合は、「図8 植栽済みの場合の試験時期を決定するフローチャート」を使用して試験時期を決定する。また、新規造成の場合、造成後は速やかに植栽する。

#### 判断1－N1 固結盤有無の判断（新規造成の場合）

##### 固結盤有無の判断

対応決定フローチャートにおける位置：判断1－N1

土壌の硬さ（軟らかさ）測定機材：長谷川式土壌貫入計またはSH型貫入試験機

試験範囲：新規盛土は深さ1mまでを基本に、固結盤が試験範囲よりも下層に続いていると予想された場合は原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さに到達するまで。

固結盤があった場合：掻き起し、またはやり直す。

固結盤がない場合：造成を完了する。

試験範囲に固結盤が見られなかった場合は造成を完了する。固結盤が見られた場合は、固結盤の深さに応じて機材を選択して掻き起しを行うか、造成し直す。複数の固結盤がある場合は最も深い固結盤を含む範囲を掻き起しする。

## 判断 1－Y 1 固結盤有無の判断

### 固結盤有無の判断

対応決定フローチャートにおける位置：判断 1－Y 1

土壌の硬さ（軟らかさ）測定機材：長谷川式貫入計あるいは SH 型貫入試験機

試験頻度：2500m<sup>2</sup>につき 1 地点で行う

試験範囲：原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さに到達するまで（生育基盤盛土全層）

固結盤があった場合：判断 1－Y 2 へ

植栽済みの生育基盤盛土の場合は、原地盤等もしくは、目標とする生育基盤厚さに到達するまでの土層全体を試験対象とする。固結盤が生じていた場合は特殊搔き起しを行って固結盤を破碎し、土壌を軟らかく（硬度を下げる）することを検討する。特殊搔き起しを行う場合、複数の固結盤があるときは最も深い固結盤を含む範囲を特殊搔き起しする。固結盤の深さに応じて適切な機材を選択する必要がある、また植栽木に損傷を与えないように配慮する必要がある。固結盤があった場合は判断 1－Y 2 へ進む。固結盤が無い場合は特殊搔き起しを行う必要はない。

## 判断 1－Y 2 重機使用の可否に関する判断

### 固結盤が出現した場合の判断

対応決定フローチャートにおける位置：判断 1－Y 2

重機の使用可：最も深い固結盤が改良されるように植栽列の間を特殊搔き起しすることを検討する。

重機の使用不可：将来の本数調整後に特殊搔き起しを併せて行うことを検討する。

重機が使用できる場合とは、植栽列間にバックホー等が進入できるスペースがある場合や左右のクローラの間になる（挟まれる）植栽木に損傷を与えない場合である。いずれの場合も植栽木が十分小さい場合に限定される。特殊搔き起しを行う場合は最も深い位置の固結盤が改良されるようにする。また、植栽列間を 1 列おきに特殊搔き起しすることとし、植栽木の根系の損傷が大きくなりすぎないように配慮する。

植栽木の成長等によって重機が使用できない場合は、将来の本数調整後に特殊搔き起しを行うことを検討する。本数調整に併せて特殊搔き起しを実施する場合は、列状伐採で本数調整を行い、伐採列へ重機を進入させて特殊搔き起しする。また、残存木の水平根の切断を極力避けるなど損傷が大きくなりすぎないように配慮する。垂下根の成長を期待して、対象木の周囲の地盤を改良することを目的とする。

## 第4節 試験を行う時期

### 判断2 植栽木の生育状況による判断

#### 植栽木の生育状況による判断

試験時期決定フローチャートにおける位置：判断2

成長が悪い場合：判断2－Y1へ

成長に問題ない場合：経過観察

固結盤や地表面の滞水によって根系の成長が悪いと植栽木の成長量が落ちる場合がある。明らかに植栽木の成長が悪い場合は2－Y1へ進む。成長に問題が見られない場合は試験を行わず経過を観察する。ただし、成長に問題が見られない場合であっても、根系の成長が十分でないことがあるので、本数調整時に成長の回復状況を確認の上、必要に応じて試験を行うのが望ましい。なお、植栽木の生育状況は太平洋側、日本海側等の地域差があるので、生育の良否は地域の特性を考慮して判断するのとする。

#### 判断2－Y1

#### 地表面の滞水の有無に関する判断

試験時期決定フローチャートにおける位置：判断2－Y1

地表面に滞水が発生している場合：滞水しないようにする処置を行った後、判断2－Y2へ

地表面に滞水がない場合：速やかに試験を実施する

植栽木の成長が悪い箇所の地表面に滞水が発生するか判断する。滞水が発生しない場合は速やかに試験を行う。地表面に滞水が発生する場合は、滞水が生じないよう排水処理を行った上で2－Y2へ進む。

#### 判断2－Y2

#### 成長回復状況に関する判断

試験時期決定フローチャートにおける位置：判断2－Y2

成長が回復している場合：経過観察

成長が回復していない場合：速やかに試験を実施する

滞水箇所の排水処理後に経過を観察し、成長が回復したかどうかを判断する。成長が回復しない場合は試験を実施し、成長が回復した場合は試験を行わず経過を観察する。ただし、成長が回復した場合であっても、根系の成長が十分でないことがあるので、本数調整

時に試験を行うのが望ましい。

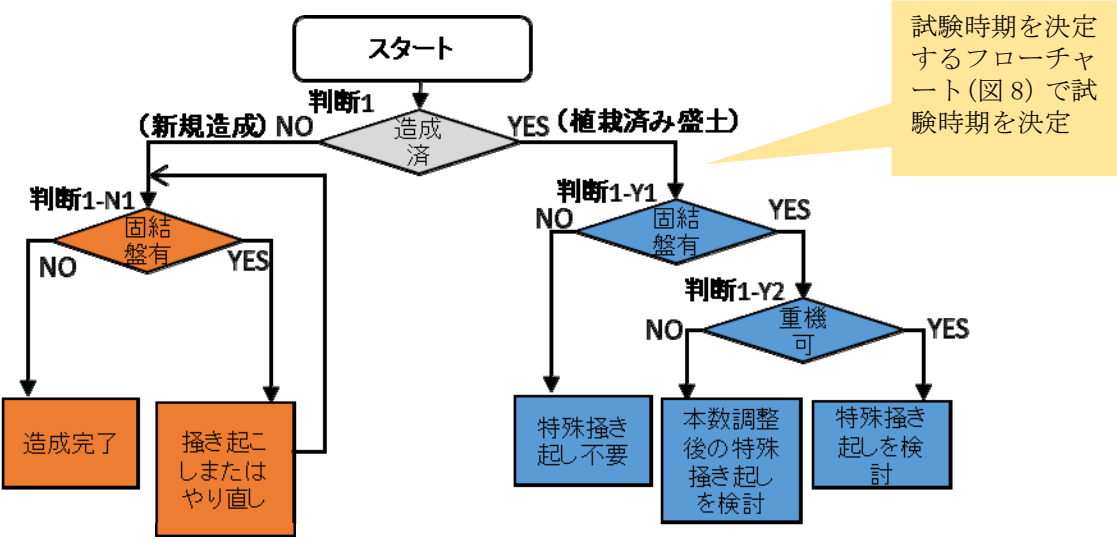


図7 対応を決定するためのフローチャート

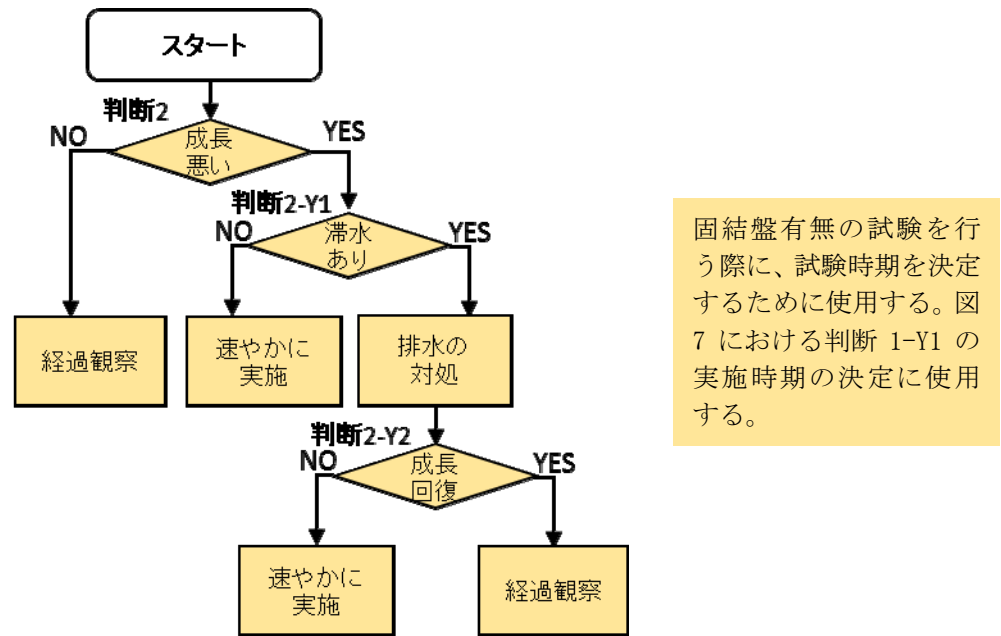


図8 植栽済みの場合の試験時期を決定するためのフローチャート

