



NPO 法人 日本ビオトープ協会 (2020.07.17) ビオトープアドバイザー用 ・ 技術メモ No.11

◇継続的に技術メモ・レポートをメール添付いたします。参考にして下さい。

「土壌改良について」

NPO 法人日本ビオトープ協会
技術委員長 直木 哲

1. はじめに

グローバルに世界中の国を見ても、日本一国から、住んでいる首都圏、千葉県、市川市と目線を絞り込んでもどうしても新型コロナを振り払うことができない日々であります。自粛生活が長く、外仕事や身体も動かさずイライラの欲求が続いたため、少し自粛が緩むとまた元に戻る反動の怖い油断できない毎日です。危機管理と震災体験から独自で早めの体制を築き、1人の患者も出していないお手本の岩手県のまねは簡単には他ではできません。こんな時ですから今に合った技術メモが良いのですが、そんな知識がないためウイルスについて語ることはできません。もし新型コロナがなければそのことにとらわれないテーマ探しをしていたらと思います、とらわれないことにしました。幸い先日ある天然記念物のマツの土壌改良を見る機会があり、土壌改良について書いて見ます。

2. 樹木医活動のなかで

普段樹木医として樹を診断することも多いのですが、樹勢衰退や腐朽・空洞が大きい場合どのように対策するかが問われることとなります。病害虫の場合には薬剤散布等の防除が主になりますが、樹自体を元気にするには土壌改良を行うことが一般的です。ベッコウタケ（根株白色腐朽）やコフキタケ（幹・枝の白色腐朽）など生きた樹を腐朽させる子実体（キノコ）の場合も薬剤での防除法はありません。これらは最も分解しにくいリグニンを分解するのですから、難物ですが、樹が元気なら腐朽部位が広がらないように防御層を作ります。健全部と腐朽とのあいだにタンニンやスベリンなど腐朽されにくい物質を蓄積して健全部を守ります（写真 1,2）。写真 3 は特異な事例で、幹芯に腐朽部分がありますが、



写真 1 防御層（黒い部分）

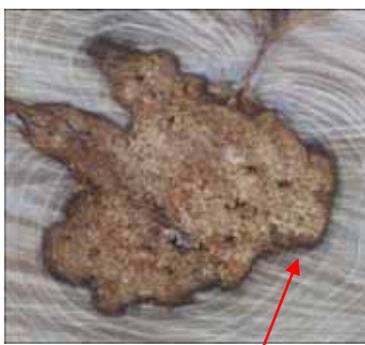


写真 2 防御層（黒い部分）



写真 3 壊された防御層

外から（外側の白い材がまだ成長していない約 7 年前）樹幹注入のような穴を空け、その結果真ん中の腐朽部を囲んでいた防御層を壊し（貫通）、中の菌が放射状に材を腐朽させたものです。その後 7 年で外側に材が年輪を重ねたものです。腐朽や空洞部を治すことはできませんが健全部を太らせることによって結果として弱い部分の面積を減じています。内部に大きな空洞があると、外側の健全部も一様の厚みではなく、薄い部分や厚い部分があるケースが多々あります。樹が揺れると当然薄い部分にかかる力に耐えられるかどうかで倒壊するかどうかになります。そんな時には樹は一様な成長ではなく薄い部分を厚くします。切った断面を観察すると薄い部分の年輪幅が、厚い部分に比べてより成長していることがあります。樹も倒壊したくないため、自分で感じて守っているのでしょう。より元気で枝葉が充実し、葉での光合成生産が盛んな場合は多くのエネルギー（糖類）が使えるため、優先順位をつけて弱い部分の補強、根の伸長などが行われます。従って土壌改良はどうやって元気にするかですが、根系をいじるため、やり過ぎは禁物になります。

3. 植栽基盤土壌の基準

土性が砂壤土から植壤土付近で硬さや透水性が良ければ問題はないのですが、造成地や建築周りの場合には締め固めで、水はけの悪い土壌も多々あります。土壌の物理性・化学性を調査分析することも多いですが、その際の評価基準としては造園学会誌ランドスケープ研究「緑化事業における植栽基盤整備マニュアル」(VOL. 63No3January,2000)では表 1 があります。やや専門的かもしれませんが、また単位も SI 単位になっているためさらに難しく感じてしまうことも多いと思います。

表 1 土壌分析結果（評価因子）の分級

評価因子・分級	1 (優)	2 (良)	3 (不良) *	4 (極不良) *
粒径組成	(三角座標に示す)			
飽和透水係数 m/s	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ >
有効水分** L/m ³	120<	120~80	80~40	40>
固相率*** %	20>(40>)	20~30(40~50)	30~40(50~60)	40<(60<)
礫含有量 wt%		20~40	40~60	60<
pH (H ₂ O)	5.6~6.8	4.5~5.6 6.8~8.0	3.5~4.5 8.0~9.5	3.5> 9.5<
電気伝導度 dS/m	0.1~0.2	0.2~0.5	0.5~1.5	1.5< 0.2>
全窒素 g/kg	1.2<	1.2~0.6	0.6>	
有効態リン酸**** mg/kg	200<	200~100	100>	
陽イオン交換容量** cmol(+)/kg	20<	20~6	6>	
置換性石灰**** cmol(+)/kg	5.0<	5.0~2.5	2.5>	
塩素イオン**** mg/kg	500>	500~2000	2000<	

注) SI単位による表示に伴い、一部の項目において数値の桁が変動(下記換算表参照)

*基本的に分級 3(不良)は改良可能な土壌の品質,分級 4(極不良)は改良困難な土壌の品質を示す

**有効水分を p F 1.8~3.0とした場合

***鉱質土壌の場合は () に表示

****樹木生育との因果関係が不明瞭なので今後の再検討を要する

表2 現行単位とSI単位

分析項目	現行単位	SI単位	現行単位→SI単位換算係数
飽和透水係数	cm/sec	m/s	$\times 10^{-2}$
全窒素	%	g/kg	$\times 10$
腐植含有量	%	g/kg	$\times 10$
有効態リン酸	mg/100g	mg/kg	$\times 10$
陽イオン交換容量	me/100g	cmol(+)/kg	$\times 1$
置換性石灰	me/100g	cmol(+)/kg	$\times 1$
塩素イオン	%	mg/kg	$\times 10^4$
電気伝導度	ms/cm	dS/m	$\times 1$

もう一つ、造園学会の資料も参考にした「植栽基盤整備マニュアル」監修国土交通省都市局公園緑地・景観課緑地環境室（一般財団法人日本緑化センター平成25年12月1日改訂第2版第2刷発行）は表3であります。

表3 標準調査判断・評価基準

重要度	調査項目	調査方法	単位	評価		
				1(良)	2(可)	3(不良)
1	排水性	排水状況観察	—	良好な排水状況	問題なし	排水不良状況が顕著
1	透水性	長谷川式簡易現場透水試験器	mm/hr	100<	30~100	30>
1	硬度	長谷川式土壤貫入計	cm/drop S値	1.5~4.0	1.0~1.5	1.0>
(1)	酸度(pH)	pH(H ₂ O)	—	5.6~6.8	4.5~5.5 6.9~8.0	4.5> 8.0<
(1)	有害物質	電気伝導度(EC)	dS/m	0.2~0.5(砂土) 0.2~1.0(その他土壤)		0.5以上(砂土) 1.0以上 0.2以下(特に0.1以下)は不良ではないが養分豊富
(1)		ハツカダイコン*発芽試験	—	生育良好	養分豊富が観察されても生育障害はない	生育障害が見られる
2	養分	植生観察、指触土性、土色等	—	良好な状態	阻害要因はないと見られる状態	明瞭な問題点の存在
3	保水性	植生観察、指触土性等	—	良好な水分を保つ	特に問題なし	保水性不足が顕著

注) 重要度

1 : 植栽基盤成立条件の中で最も重要度の高いもの。

(1) : 重要度の高い項目であるが、改善対象として出現する確率は「1」より低いもの。

2 : 判断・評価を行う際、最重要項目の下位に位置するもの。

3 : 植栽基盤成立条件ではあるが、必須の改善項目とならないもの。

* : 試験時期等によっては、牧草種子等を用いても可。ただし、対照区を明確にしておくこと。

今回これらの詳細を記すつもりはなく、硬さと特に透水性に関する点を主に述べてみたいと思います。一般的に土壤硬度は長谷川式土壤貫入計と山中式土壤硬度計、透水試験に関しては長谷川式現場透水試験や植穴における透水試験が使われています。それらについて述べます。

4. 土壌硬度試験

4-1. 長谷川式土壌貫入計

重さ **2kg** の落錘をガイドリングで止まる高さ (**50cm**) から落下させノッキングヘッドで止まるが、その打撃力で地中に貫入した深さをメモリで毎回読みとり記録する。**1 打撃**毎の貫入深さを **S 値 (cm/drop)** としグラフ化して判定します。

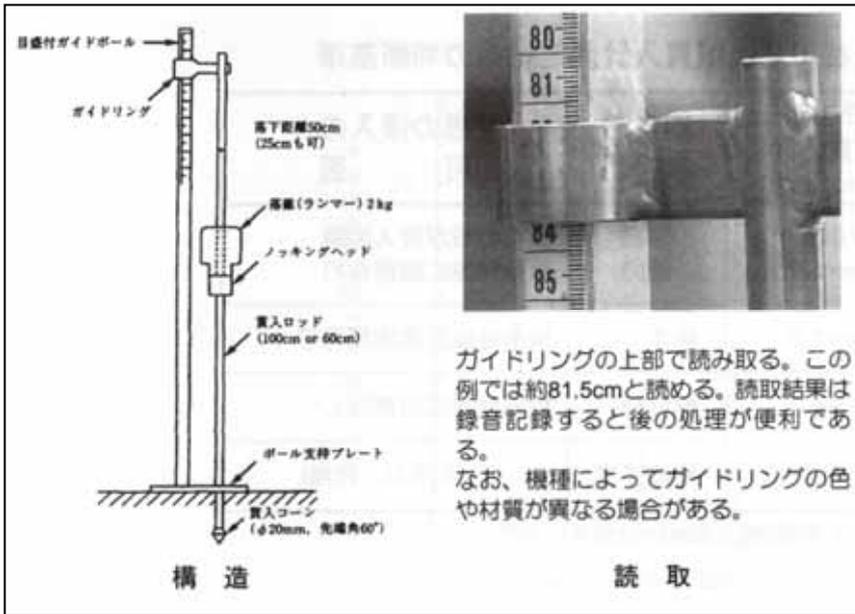


図1 長谷川式土壌貫入計

写真4 計測作業

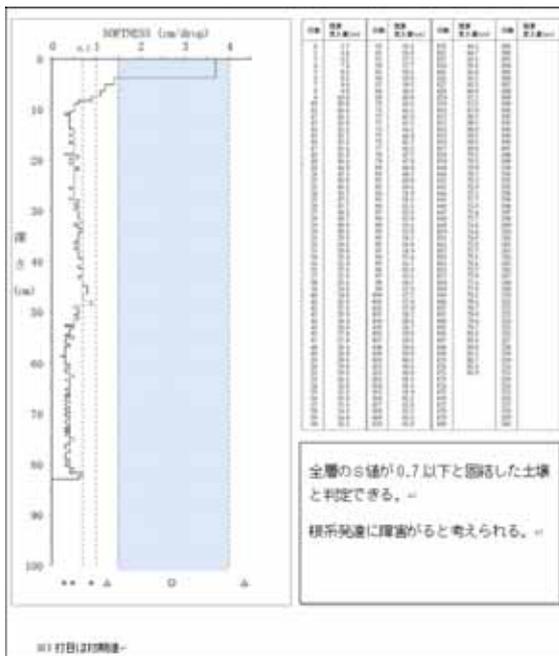


図2 長谷川式貫入計結果の表例 (S 値グラフ)



写真5 山中式土壌硬度計測定

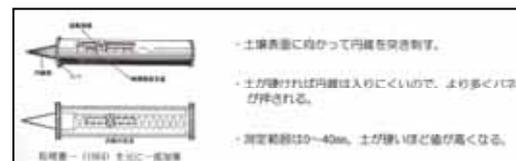


図3 山中式土壌硬度計

山中式土壤硬度計は5回測定し平均を出す。または最高、最低を除いて平均を出します。

表4 長谷川式土壤貫入計と山中式土壤硬度計の比較参考値

長谷川式土壤貫入計 S値(cm/drop)	根の伸長の可否	土壤硬さの表現	(参考:山中式硬度計) (mm)
0.7以下	多くの根が伸長困難	××(固結)	27以上
0.7~1.0	根系発達に障害有り	×(硬い)	24~27
1.0~1.5	樹種によっては多少障害される	△(縮まった)	20~24
1.5~4.0	根系発達に障害なし	○(良好)	11~20
4.0以上	膨軟過ぎ・支持力不足	△(軟らかすぎ)	11以下

5. 植穴による透水試験と長谷川式現場透水試験

5-1. 植穴による透水試験

最近長谷川式透水試験が多いですが、以前この試験器ができる前は植穴に水を注いで時間による減り具合をみて、24時間経過後に滞水があれば排水対策を検討する方法を旧住宅・都市整備公団では行っていました。いまでも高木で鉢高が1mもあるような高木植栽では深い位置での排水を調べる必要があります。写真6-9は東京湾臨海地の高層住宅外構の例です。

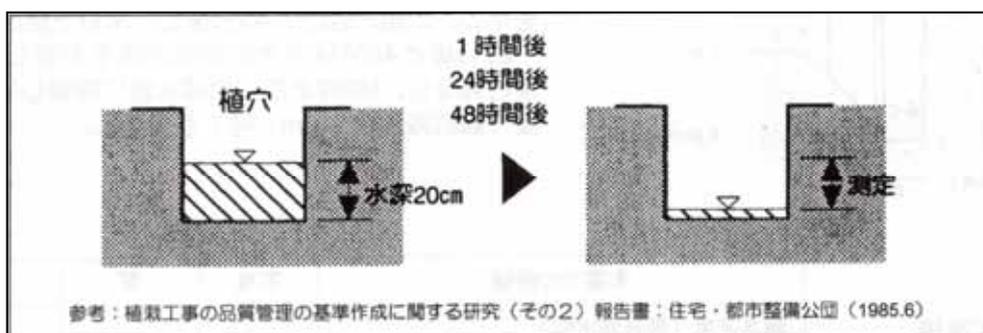


図4 植穴の湛水による透水性試験



写真6,7,8,9 植穴の湛水による透水試験事例

No1 地点	
時間分	減水cm
0	50
10	35
20	27
30	25
90	20
120	14
180	12
240	-
300	-

表 5 時間と減水深さ

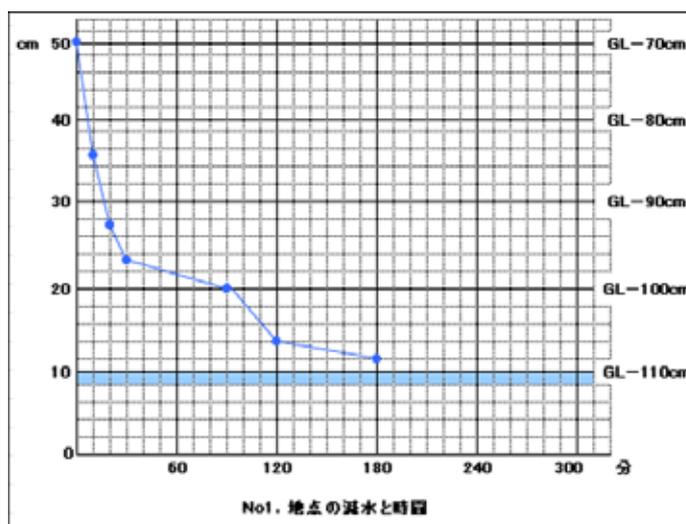


図 5 時間と減水の図

植栽工事は建築の最終段階に行うため、早めの契約時点では現場の排水・滞水状況がわからないことが多くあります。しかし自然土壌のエリアではほとんど問題はありませんが、造成地や臨海地など人工的な現場の場合、硬くて根の進入困難、排水不良のケースも多々見られません。停滞水があるような時は現場に入る段階で気がついていても、暗渠排水など大がかりな予算は見ていないことが多く、結果的に樹木の枯死に至りやすいです。事前に土壌調査を条件に入れて図示化して提案すると経験的に設計者に理解してもらいやすいです。

5-2. 長谷川式現場透水試験

植穴による透水試験を機器で簡易的に理論化したものであり、現在は植栽基盤の透水性試験に多く使用されています。予備注水として最初に穴の底部を湿らせるため、土壌が乾燥している場合にも土壌孔隙内に水分が含まれた状態で透水性を測定できます。

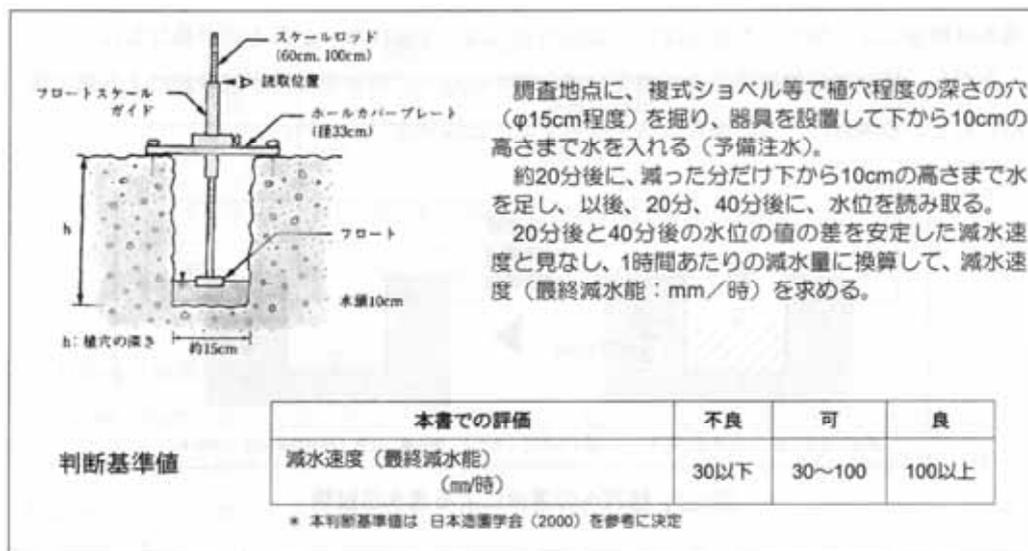


図 6 長谷川式簡易現場透水試験器による判定と判定基準値



写真 10 透水試験中



写真 11 掘削



写真 12 掘削土壌の柱状の様子

長谷川式簡易現場透水試験を行う際は、ダブルスコップで掘削を行うため、表層から下層にかけての土壌断面を把握しやすく、土壌検体を採取し化学分析を行うことも多いですが土壌の違いを目で見て認識して採取することができます。土壌硬度についても碎石層など硬い層の原因がわかりやすく透水試験と平行してできます。

6. 土壌改良の実際

本題の土壌改良までの前述が長くなってしまいました。ここからの手法は NPO 法人樹木生態研究会の元代表理事（現最高顧問）の堀大才先生が提唱されているもので、自分も東京農大のカレッジ講座や現場で見聞きしたものです。

土壌改良が必要な樹木は土壌が硬くて今以上根系伸長が困難な場合、下層に不透水層・滞水層がある場合が多いですが、実際に根が張っているため大がかりな改良で根を傷めることは本末転倒になりやすく、いかに根のダメージを少なくしながら改良するかがポイントです。

図 7 に模式図を書きましたが、下層に不透水層がある場合その上部は停滞水層となり、更にその上部も粗い孔隙がないと毛管孔隙が毛管水で満たされます。孔隙に空気がないこの部分には根が伸長できません。有効土層を大きくするにはダブルスコップで掘削し、割竹を挿入や、それでも根を傷めることを懸念する場合（特に弱っている樹や重要な名木など）、水圧で細い穴を掘り、篠竹挿入を行います。竹の周辺に粗孔隙を作ることにより根の伸長が可能になり、根が水を吸い上げることで水位も下がります。割竹の空洞が水に触れることにより蒸発も増えます。結果として有効土層が増えることとなります。有効土層を増やすことが土壌改良の大きなポイントになります。

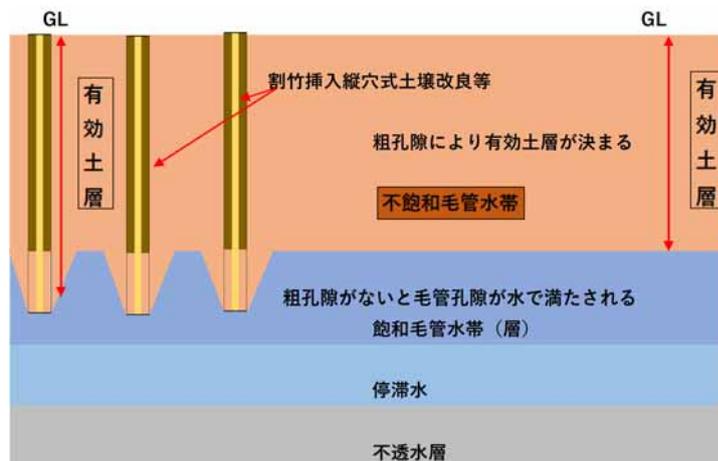


図 7 土壌改良の模式図

6-1. 割竹挿入縦穴式土壤改良法

竹を割って一番下の節以外はとり、再度竹を結束します。樹の根の周辺部にφ15~20cmの深さ1m前後の穴を掘って竹を埋め、周辺に完熟の堆肥で埋め戻します。新たな根系が伸びるエリアを作ります。下層に滞水層がある場合には水分の蒸散になりますが、滞水層がある場合には周辺の堆肥は滞水層までは入れない方が良いでしょう。夏季に乾燥があるときは竹穴から灌水を行い根の深いところまで水（薄い液肥でも良い）を行き渡らせ、根系を深くまで誘導することにより乾燥に耐える樹木にすることができます。右下の写真は1年後に掘って調べた事例であるが割竹周辺に根が伸びていることが観察されます。



図8 割竹挿入縦穴式土壤改良

写真13~16 割竹の挿入事例と根の伸長調査事例

6-2. 水圧穿孔式土壤改良法

ダブルスコップでの掘削でも根を傷めることになるため、更に根を傷めない方法としては果樹園等で白紋羽病などの土壤病害用殺菌剤注入機を使った手法で土壤中に穴を開け、そこに細い篠竹等を挿入する手法を前述の堀先生は最近よく行っています。最近見学した事例を紹介します。

これは大きく枝を広げた記念物マツの木道下の改良で、地下水も1mくらいにあります。50cmピッチに1mの深さまで水圧で穿孔し、そこに節を壊した竹を挿入するものです。



写真17 位置だし (50cmピッチ)

写真18 竹φ10~25mm

写真19 節を壊す

写真20 穿孔

元の機械はノズル先端が四方に穴が空きそこから殺菌剤を注入するものでしたが、下向きに2箇所の穴から水を出すものに代えたものです。今回はノズル2本連結(1.6m)し、1.1mに印をつけてそこまで穿孔し、1mの竹を入れたものです。細い水圧で石や太い根にあたり入らないときには位置を変えて施工します。



写真21 先端4孔ノズル 写真22 先端2孔ノズル 写真23 印まで穿孔 写真24 完了

この手法は施工側からすると大がかりではないためあまりお金にはなりにくいのですが、樹木の根の傷めを最小限にして、長期にわたり回復を促すこと、根が入りやすい孔隙を作ること、酸素の供給をすることが大きな利点、目的です。

6-3. 空気圧による穿孔法

同様な手法を空気圧で行う手法もあります。こちら根を傷めない手法で、穴に肥料を入れる場合もあります。



写真25 作業風景 写真26 土壌の飛散防止 写真27 穿孔後 写真28 ノズル先端

水圧や空気圧では穿孔ができないような硬い場合が多くあり、その時は削岩するピックを使って穴を空け、水圧と併用することもあります。

土壌調査、土壌改良のいくつかの手法について述べてみました。現場の状態により異なりますので多くの事例が集まればその樹にとってのより良い手法が絞れてくるかと思えます。時間はかかるでしょうが、皆さん試してみてください。

最後に400年以上経過したスギの古木の根の写真を載せます。福井県の曹洞宗大本山永平寺の高さ約50mの樹です。高さ25mで折れて隣接の鐘撞き堂に倒れ、伐採に至った樹です。深さ2mまで掘削し土壌と根を調べたのですが、断面に何層も昔の参道跡の砂利が出てきます。長年の間に盛土されています。表層の根は意外と少ないのですが、高さ50mを支える根の大きさのすごさは写真でもわかんと思います。このような人間の寿命以上の樹

に対し、人間の時間尺度での土壌改良などできません。少し添える程度の改良で樹の生命を長く見守ることになるかと思います。



写真 29 永平寺約 400 年のスギの根



写真 30 堀先生の土壌調査

参考文献

(社) 日本造園学会緑化環境工学研究会：緑化事業における植栽基盤整備マニュアル、ランドスケープ研究 63 (3)

一般財団法人日本緑化センター 監修 国土交通省都市局公園緑地・景観課緑地環境室
：植栽基盤整備技術マニュアル

堀大才・三戸久美子・内田均：2017 年後期講座 東京農大オープンカレッジ：土壌の科学と土壌改良、樹勢回復