

石灰安定処理地盤における植穴客土による植栽工法の一事例

北村 瑞世 岡田 俊也
喜田 大三 辻 博和

A Case of Planting Method by Carrying Soil for Revegetation of Planting Hole on Lime-Stabilized Ground

Mizuyo Kitamura Syunya Okada
Daizo Kita Hirokazu Tsuji

Abstract

It became necessary to determine the best planting method for lime-stabilized ground. Such highly alkaline soil, upon the application of planting, can be treated by; ① the improvement of soil of the whole surface or only planting holes, or ② carrying soil for revegetation of the whole surface or only planting holes. In this paper, we report the result of the measurements of soil characteristics and alkali migration rates which are carried out in order to determine the best planting method.

It was found that the rhizosphere was kept neutral by using the carrying soil applied to planting holes which has high pH buffering capacity. Therefore, the method of carrying soil was applied to the actual planting site. The size of the planting holes are determined by the rates of alkali leaching and the relation between the degree of base saturation and pH. There has been no apparent damage to the plants for nine months after planting.

概要

某物流センター湛水池造成改修時の護岸工事の際、軟弱な底質を石灰処理し、処理土で埋立てられた地盤に植栽することとなり、植栽工法の検討が必要となった。強アルカリ土に植栽を行う際の対策として、① 全面、もしくは植穴部分の土質改良（洗脱、 CaCO_3 生成による pH 低下）、② 全面、もしくは植穴部分の客土等が考えられる。

そこで、植栽工法を決定するために、現地において植栽試験、および植穴客土に対する周囲アルカリ成分の移動量測定試験を実施した。

その結果、石灰処理地盤に植栽する際、pH 緩衝能の高い関東ロームを植穴に客土すれば植物の根圏の pH は、中性を維持することが明らかになり、植穴客土法によって本植栽工事を実施した。植穴の大きさは、アルカリ土からのアルカリ成分溶出量と、関東ロームの塩基飽和度と pH の関係をもとに決定した。

施工9か月経過時点で、植物（ソメイヨシノ、ツツジ等）の生育は良好であり、障害は認められていない。

1. はじめに

軟弱な地盤や底質の強度改良のために、石灰やセメント系の改良材が広く使われている。改良土は、強アルカリを呈するが、近年その地盤に植栽を望まれることが多く、これに対する植栽技術の確立が求められている。

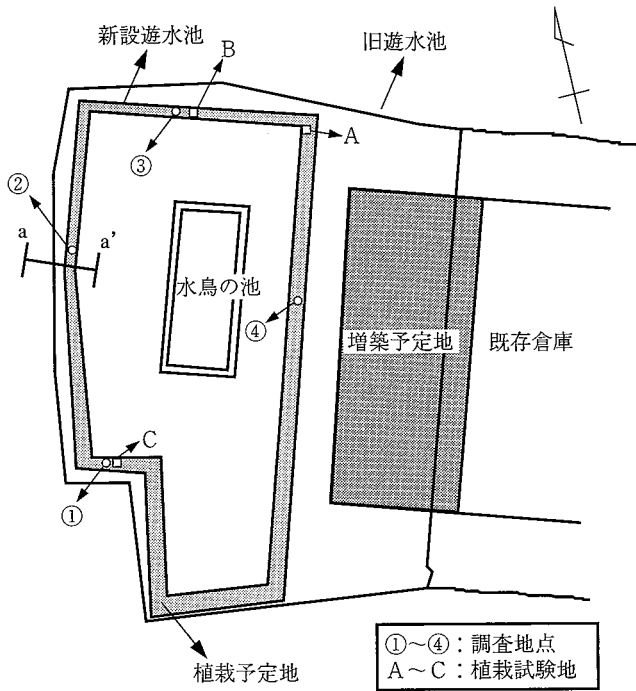
今回、某物流センター湛水池造成改修時の護岸工事の際、地盤改良、および裏込め材の確保のために池底の泥土に対して生石灰処理を行い、強アルカリとなった石灰処理土で埋立てられた地盤の植栽について検討することとなった。しかし、こういった土壌環境の調査、ならび

に植栽試験は従来行われていなかった。

そこで本報告では、このような土壌環境における緑化工法の確立をめざし、現場における土の改良方法を検討し、植栽試験を行った結果と、それらに基づいて提案した植栽工について述べる。さらに、工事施工後の状況について、植栽樹木の生育およびその根系と周辺の土を調査したのでその結果もあわせて述べる。

2. 工事概要

当該地区周辺の地盤は、北側が南側よりも高く、また排水性も悪いため、付近の家屋にしばしば浸水等の被害



図一1 遊水池の平面図
(縮尺 1 : 1400)

が生じる。そのため物流センター敷地内には、図一1に示すように、面積 3,900 m²、深さ 50 cm の、遊水池としての機能を持った池が造られていたが、今回、増築の為の新たな土地を確保するために、この池の面積を 2,100 m² に縮小する工事が行われることになった。池の遊水池としての機能は維持しなければならないため、工事には池底を掘り下げ、縮小前と同じ容量を確保する事が求められた。またこの池には多くの冬鳥が飛来することから、外部からのバードウォッチングに対する配慮もなされることになっており、改修後の池の周囲 430 m には遊歩道を設け、表一1に示すソメイヨシノ 31本、ツツジ 1,402本等による植栽も予定されていた。

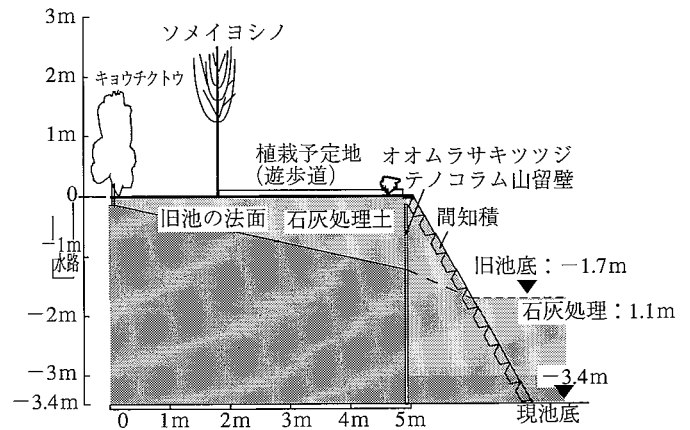
3. 植栽予定地の概要および石灰処理土の性状

3.1 植栽予定地の概要

池底の掘削の際、工事車両の走行性を確保するために生石灰による地盤改良を 110 cm 深まで行った。生石灰は、目標とした 1.5 kgf/cm² の一軸圧縮強度を得るために 100~150 kg/m³ 使用された。その石灰処理土は、図一2に示すように、テノコラム山留壁工事の裏込め、および周囲の遊歩道等の盛土に使用された。このように石灰処理土はすべて同現場内で利用されたが、植栽予定地の大部分に、石灰処理土の影響が強く現れており、植栽に対する影響が懸念されるところとなった。

3.2 植栽予定地の性状

植栽予定地における石灰処理土の影響を把握するため、図一1に示すように池の周囲①~④地点から表層土を採取し、石灰処理前の池底の泥土とあわせて分析した。分析結果を表一2に示す。



図一2 植栽予定地の断面図
(図一1の a-a' における)

表一1 工事概要

項目	工事概要
工事内容	テラノコラム山留 (11,200 m ³) 間知石積 (1,672 m ³) 造成土量 (12,000 m ³) および排水工, 舗装工, 植栽工
工期	94年2月4日~94年12月末日
植栽計画	94年7月植栽基盤造成, 8~9月植栽試験, 9月末~11月植栽本工事 池の周囲に 430 m にソメイヨシノ (H/2.5C/0.1) 31本, オオムラサキツツジ (H/0.3W/0.3) を主にツツジ類 1,402本, ツバキ 4本, サンゴジュ 10本, キンモクセイ 7本を新植, 物流センター構内からキョウチクトウ 84本, トウネズミモチ 81本を移植

調査地①~④において、石灰と思われる白色塊が認められ、安定処理土が植栽予定地の表層に現れていることが確認された。

調査地②~④の pH は 11.7~12.3 と強アルカリ性を示し、石灰処理土の影響が強い部分と考えられた。交換性カルシウム (exCa) は 50~100 meq/100 g、塩基飽和度 {塩基置換容量 (CEC) に占める全交換性陽イオンの比率} は 380~600% であり、池底土の exCa : 20.55 meq/100 g、塩基飽和度 : 85.1% と比べ非常に高い値が得られた。このような高い exCa は、一般土壌における exCa と異なり、Ca(OH)₂ や CaCO₃ 等の Ca も含まれると考えられる。全カルシウム含量 (全 Ca) に関しては、調査地④ : 2.57%、調査地③ : 6.6% であり、石灰処理土の混入量は場所によって異なることも明らかになった。

試験地①は pH が 10.9、EC が 0.5 mS/cm と低く、また全 Ca が 1.75% であり、石灰処理土の混入の少ない地点であると思われる。

このように、pH、EC は測定地点によって大きく変化した。高塩類濃度、高 pH の土は、主に池の西側、および北側で多く認められた。

表一 調査地点の植栽土および池底表土の分析結果

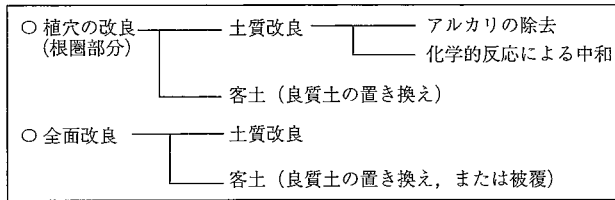
調査地	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	全炭素 (%)	CEC (meq/100 g)	交換性陽イオン(meq/100 g)				塩基飽和度 (%)	全 Ca (%)	含水比 (%)
					Ca	Mg	K	Na			
①	10.9	0.5	0.60	9.6	48.1	1.21	0.42	0.27	520	1.75	18.7
②	11.7	1.5	2.44	13.0	82.5	1.87	0.74	0.48	570	4.22	22.4
③	12.3	5.4	3.49	18.7	107.8	2.26	0.67	0.72	600	6.60	32.8
④	12.2	3.8	1.77	14.5	54.1	1.30	0.24	0.33	390	2.57	23.6
池底土	6.5	0.05	5.83	34.1	20.6	7.56	0.17	0.75	85	0.53	151.8
客土材	7.0	0.13	2.27	19.8	12.2	2.50	0.59	0.45	80	—	101.0

* 乾土表示

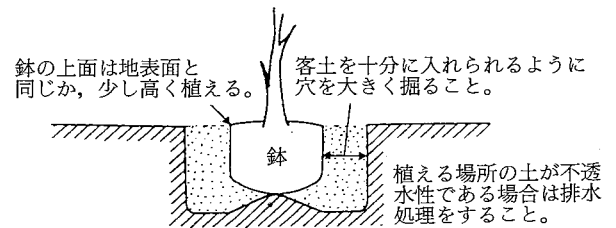
表二 緑化基盤としての
土壌条件

土壌条件 (緑化基盤)	pH	EC (mS/cm)
優	5.6~6.8	<0.2
良	4.5~5.6 6.8~8.0	0.2~1.0
不良	3.5~4.5 8.0~9.5	1.0~1.5
極不良	<3.5 >9.5	>1.5

(社)造園学会による



図一 セメント、石灰安定処理地盤に植栽工を行う
場合の対策



図二 植穴客土工²⁾

(社)造園学会で提案している緑化基盤としての土壌条件¹⁾のうち、pH、ECは表一に示すとおりである。今回の土壌は、明らかに適正値を超えており、このまま植栽を行うことは困難であると思われる。

4. アルカリ土に植栽を行う場合の対策

セメント、石灰処理等によって、アルカリ化した地盤に植栽する方法として、図一に示すように全面を土質改良(アルカリ除去、化学的反応による中和)もしくは客土する方法と、植栽植物の根圏部分を土質改良もしくは客土する方法が考えられる。

全面を土質改良もしくは客土することは、効果が確実であるが、コストが上昇し、工期も長期化することや、環境保全の点からも、この方法をとることは次第に困難になりつつある。一方、根圏部分を土質改良、もしくは客土することは、多量の土を搬出せず、工期の短縮が図れる。さらに植物の2次障害の発生を考慮すると、根圏部分つまり、植穴に健全土を客土する植栽工法が最適と考えられた。そこでこの工法のアルカリ化した地盤に対する有効性を、現地におけるアルカリ成分移動試験および植栽試験を行って検討することとした。

5. 石灰処理地盤における植穴客土工の有効性

5.1 植穴客土工²⁾

植穴客土工とは、図二に示すように、緑化植物の植穴ごとに良質土を客土する植栽工法である。この方法は、有効土層が十分確保されない場合に、根圏に良好な土の環境を造ることが目的であるが、不良環境における植栽の際にも、しばしばこの方法が用いられる。

5.2 客土の選定

客土の性状が石灰処理土中のアルカリ成分溶出により

アルカリ側に傾くことがあり、それを最小限にとどめるためには、客土の選定を適切に行うことが重要である。

一般に、ベントナイトやアロフェン系火山灰土、泥炭等のもつ緩衝能は、セメント系や石灰系固化材を用いた際に生じるpH上昇を抑制する機能が卓越していることが知られている。

その中で、客土材には、保水性、排水性の問題を考え、更に安価に、かつ容易に入手できるものとしてアロフェン系火山灰土である関東ロームを用いることにした。

5.3 植栽予定地におけるアルカリ成分の移動試験

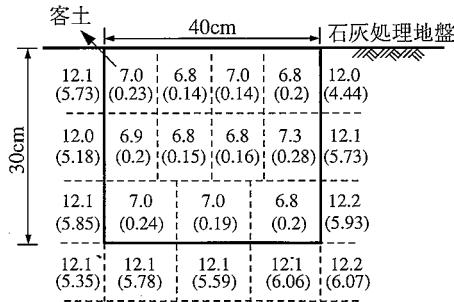
5.3.1 試験概要 関東ロームによる植穴客土工がこのようなアルカリ環境下での植栽にどの程度対応できるのかを把握するために、周囲の石灰処理土からの植穴に対するアルカリ成分の移動量を検討した。

まず、pH12.3、EC5.4 mS/cm(全Ca6.6%、塩基飽和度596%)の高アルカリを示す石灰処理地盤(図一の③地点)に直径40 cm、深さ30 cmの植穴を作り、関東ロームを充填した。ここで用いた関東ロームは、一般的に「赤土」といわれる有機物の少ない心土部分であり、その性状は、表一に示すとおりで、CECが19.8 meq/100 g、塩基飽和度は80%を示す。

上記の植穴客土地盤に対して、3日に1回植穴あたり3リットルの灌水を30日間行い、1カ月経過後、植穴および周囲の土を10 cm間隔で採取し、周囲からのアルカリ成分の浸入の程度をpH、EC、増加したexCa{試験終了時のexCa—もとの土のexCa}で評価した。

5.3.2 結果および考察 石灰処理土および客土のpH、ECの結果を図三に示す。

石灰処理土との境界10 cmまでの客土部分のECは1カ月の間に0.13 mS/cmから0.2~0.28 mS/cmに上昇し、exCaは最大20 meq/100 g増加した。塩基飽和度



*上：pH (H₂O) 下：EC (mS/cm)

図一5 試験1カ月後の pH, EC

は境界 10 cm までにおいて最大100%に上昇し、10~20 cm 部分においては変化が認められなかった。これに対して、客土部分の pH は6.8~7.3であり、試験前の pH：7.0と変わらなかった。

以上のように、石灰処理地盤に関東ロームを用いて植穴客土を行った際、石灰処理土との境界 10 cm の部分で、約 0.1 mS/cm の EC の上昇を引き起こすアルカリ成分の移動が認められたが pH は上昇しないことが明らかとなった。

5.4 植栽試験

5.4.1 試験概要 アルカリ成分の移動試験の結果から、植穴客土工はアルカリ地盤の植栽において有効な対策になると考えられた。そこで、本工法の有効性を確認するため植栽予定地において石灰処理土の影響の程度が異なる3地点を選び、植栽試験を行った。

前掲の図一1に示すA~C地点に、2種の植栽条件(1.石灰処理土、2.関東ロームによる客土)を設定し、オオムラサキツツジ、ボックスウッド、シャリンバイの苗木を植栽した。アルカリ土における植物の生育の障害の有無を、新葉の展開と着花数を指標として判定した。

5.4.2 試験結果 オオムラサキツツジ、シャリンバイでは、植栽後2週間で、ボックスウッドでは4週間で、すべての試験条件のもとで、新葉が展開するのが観察された。

植栽試験9カ月後の95年5月におけるオオムラサキツツジの着花数を表一4に示す。関東ロームを用いた植穴客土工におけるオオムラサキツツジの着花数が、苗木1本当たり46個であったのに対して、石灰処理土に植栽した場合のそれは7個と、大幅に減少した。これより、関東ロームを用いた植穴客土工の効果が確認された。

6. 植栽工事の概要

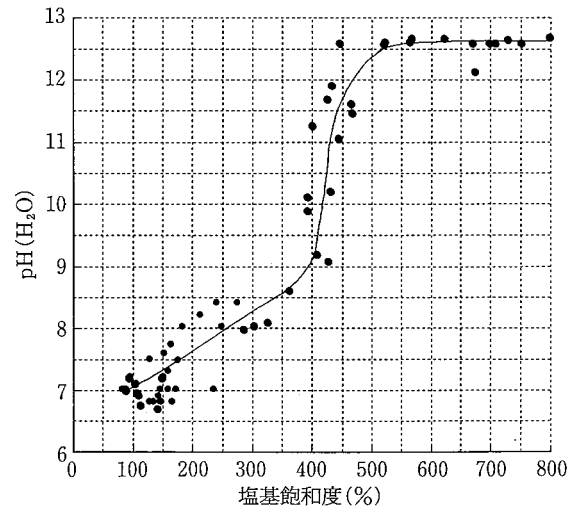
6.1 石灰処理地盤における植穴の大きさを決定するための考察

現地における植栽試験の結果、試験木として用いた3種の緑化樹は、植穴客土工を行った際、アルカリ障害とみられる症状は現れなかった。また5.3節で述べた試験の結果から、石灰処理地盤に関東ロームを植穴に客土すれ

表一4 オオムラサキツツジの着花および新葉の状態

植栽試験条件	着花数	新梢数	新葉数	クロロフィル (ug/cm ²)
石灰処理土	7	9	53	25.0
関東ロームによる客土	46	6	37	37.2

95年5月14日の調査



図一6 塩基飽和度と pH の関係

ば根圏の pH は中性を維持することがわかった。

図一6に関東ロームの塩基飽和度と pH の関係を示す。これより、Ca が浸入しても塩基飽和度300%以下であれば pH は8.5以下を維持すると考えられる。

また Ca の移動量は、Fohs⁹⁾ らによると、ロームと石灰乳(石灰：水比=1：2)を接触させ90日間養生した際、ロームの石灰含有率2.5% (塩基飽和度約300%に相当する)となる距離は5 mm である。すなわち、3年間同条件下で、石灰処理土中の Ca が植穴部分に移動した仮定すると、pH8.5以上となる客土の厚さは、石灰処理土との境界6 cm までであり、客土厚6 cm 以上あれば、3年間、アルカリ成分による客土の pH 上昇は防ぐことができる。また、石灰処理土においても降雨による石灰溶脱、土中の炭酸ガスによる石灰不溶化もありうるので、石灰の影響は軽減されると考えられた。この推定の妥当性は後述する。

6.2 植栽工事

以上から、当該地の石灰処理地盤における植栽工は、「植穴に関東ロームを客土する」という方法が適切であると判断した。その際、植穴の大きさとして、安全をみて根鉢から10 cm 厚を確保することとし、94年10月下旬~11月上旬にかけて植栽工事を行った。

なお、石灰処理地盤の透水係数は 10⁻³ cm/S のオーダーで透水性は良好であった。その地盤の地下水位は-3.4 m に位置した。



写真-1 現在の遊水池

7. 植栽後の状況

工事施工後、植穴客土工によって植栽した緑化樹は、翌春にかけて新葉が展開し、写真-1からも明らかのように、85年8月現在すべて正常に生育している。実際に植栽木の健全度を95年8月のソメイヨシノの生理活性から評価した。また根系の発達と周辺土の関係を知るために、ソメイヨシノの根系およびその周辺の土を94年12月、および95年8月の2回にわたり調査した。

7.1 ソメイヨシノの生育状況

5.4節で述べた植栽試験地A～C近傍から各1本ずつソメイヨシノを選び葉の呼吸、光合成活性を測定することで、機能面からの評価を行った。方法は当年枝に発生した葉から一定面積をリーフパンチで採取し、これを試料として酸素電極法⁴⁾によって行った。その際、技研内のソメイヨシノ2本を健全な対照木として選び同時に測定を行った。

測定結果を表-5に示す。葉1gあたりの呼吸速度は3本とも約40 μmolO_2 、光合成速度(55,000 lux 時)は約100 μmolO_2 であった。この値は、対照木と同等であり、機能の面でも障害は出てないとしてよい。すなわちソメイヨシノは目視によるスコア評価だけでなく、葉の機能の面においても健全であるといえる。

7.2 94年12月のソメイヨシノの根系周辺の土

94年12月では、ソメイヨシノはまだ休眠状態で、根の発達がみられなかった。そこで、根の周辺の土の性状を、石灰処理土との境界5cmまでの客土部分と、その周辺の石灰処理土を深さ方向に採取し分析することで調査した。

石灰処理土、および客土のpH、ECを図-7に、増加したexCa、塩基飽和度を図-8に示す。

これより客土のECは0.18～0.4 mS/cm、増加したexCaは2.65～16 meq/100g、塩基飽和度は86.7～148%であり、石灰処理土中のアルカリ成分の移動がみられた。10～13cm深さにおいて、それ以深より高い値が得られ

表-5 ソメイヨシノの呼吸、光合成活性

ソメイヨシノ	呼吸速度	光合成速度	クロロフィル含量
	$\mu\text{mol O}_2/\text{g} \cdot \text{fresh}$	weight \cdot hr	Chl mg/g \cdot fresh weight
試験区A	33.2	94.8	2.92
試験区B	42.1	96.4	2.97
試験区C	40.9	107	3.0
技研 I	43.1	99.7	3.64
II	43.1	107	2.26

たが、これは客土の上部に石灰処理土が盛土されていたためである。それに対して、pHは6.8～7.1であり、客土した関東ロームの初期値を維持した。

7.3 95年8月のソメイヨシノの根系および周辺の土

ソメイヨシノの根系およびその周辺の土の性状について図-9に示した。図-9からも明らかのように、根は、客土部分を越えて、石灰処理土に侵入していた。ところで、95年8月における石灰処理土の性状の垂直分布を、94年12月と比較して図-10に示した。

94年12月において、表層10cmのpHは8～9、ECは0.5 mS/cm以下であり、10cm以深のpHは12.5、ECは5.8～6.8 mS/cm、全Caは6.4～8.9%と高アルカリ性を示した。これに対して、95年8月では、表層～50cm深において、pHは8～12、ECは0.11～2.6 mS/cmに低下、全Caは約1/2以下になった。これは、石灰処理地盤において、梅雨等の降雨による溶脱と、炭酸ガスによる不溶化によって、中性化が進行した為であると考えられる。

ここで、図-9に示した根系図からも明らかのように、根は、pHが8～11、ECが0.1～0.5 mS/cmの石灰処理土に伸張していたことがわかり、土の性状の動的変動と、そこに生育する植物との関連性が示唆された。

8. まとめ

石灰処理地盤における植栽工について以下の知見が得られた。

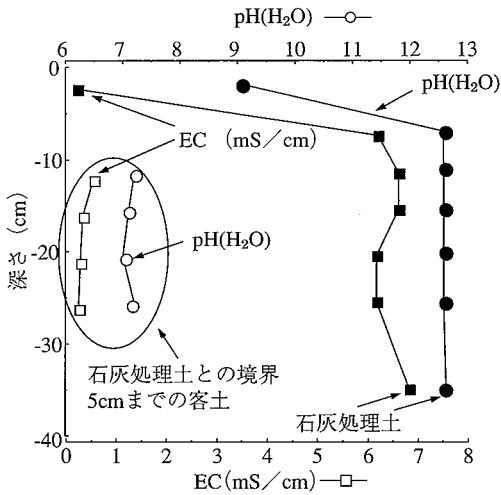


図-7 石灰処理土、および客土の pH, EC

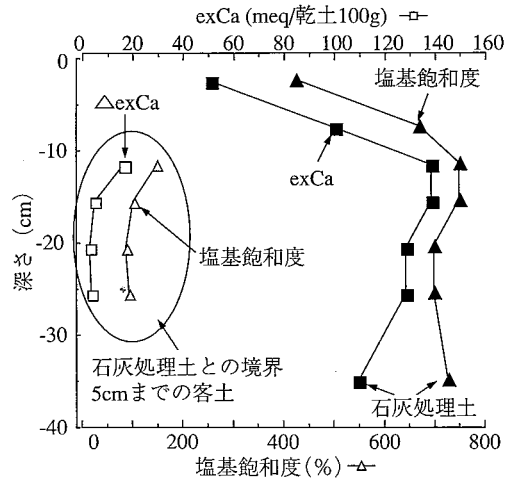


図-8 石灰処理土、および客土の増加した exCa, 塩基飽和度

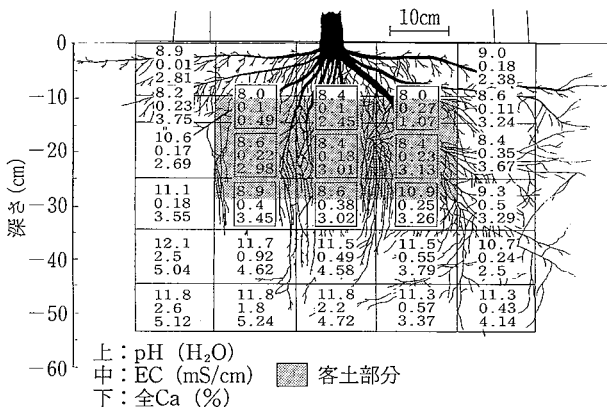


図-9 ソメイヨシノの根系

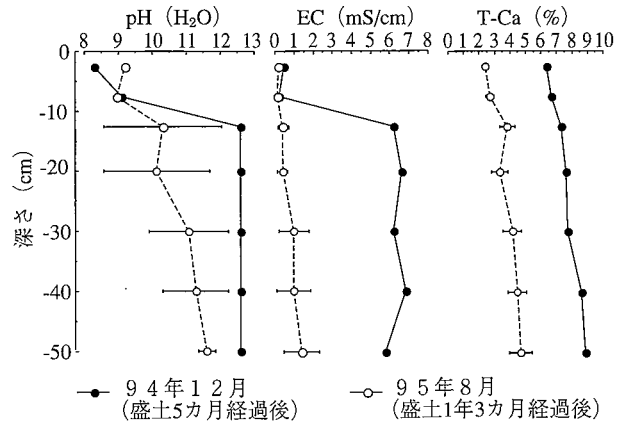


図-10 石灰処理地盤の経時変化

① 関東ロームを植穴部分に客土する方法は十分有効であり、植穴の大きさは石灰処理土のアルカリ成分溶出量とロームの塩基飽和度と pH の関係から考察できる。

② 石灰処理地盤のアルカリ成分は客土部分に移動するが、ロームの緩衝能により根圏部分の pH は中性を維持する。

③ 植穴客土工で植栽した植樹木の生育は良好であった。オオムラサキツツジの例では、石灰処理土に直接植栽した場合に、着花数が極端に減少したのに対し、植穴客土工で植栽した場合、正常な着花がみられた。

④ 石灰処理地盤におけるアルカリ成分は、降雨による溶脱と、炭酸ガスによる不溶化によって、pH は中性に近づき、EC の低下が認められ、その部分に植物の根は伸長していた。

今後の課題として、植穴の大きさを決定する際、植物

根の発達を考慮する必要がある、これは植物種、あるいは環境に影響されるであろう。また石灰の移動速度についても詳細な検討が必要である。さらに、今回は透水性の良好なところでの植栽であったが、地下水位の高い所、透水性の不良な所における検討も必要である。

参考文献

- 1) 日本造園学会：緑化事業における植栽基盤整備マニュアル，造園雑誌，Vol.48, No.2, p.133~145, (1984)
- 2) 土質工学会：技術手帳 実務に役立つ土質工学用語の解説，p.116~119, (1978)
- 3) D. G. Fohs and E. B. Kinter: Migration of Lime in Compacted Soil, Public Roads, Vol. 37, No.1, p.8, (1972)
- 4) 岡田，他：緑化樹の葉の発達に伴う呼吸，光合成活性の変化，第24回日本緑化工学会研究発表会，p.10~13, (1993)