

# 生物多様性に配慮したセメント改良土法面の緑化 植生基盤としての改良土表層の化学性等の調査

白石 祐 彰

セメント改良土法面の長期的な緑化目標は、メンテナンスフリーの条件で10年程度は当初の緑化工植物が繁茂し、その後は飛来種子により郷土植物が順次侵入して、概ね30年後には周辺林相へと植生遷移が進むことである。セメント改良土法面の造成直後の高い強度と強いアルカリ性は、植生基盤として不適合であった。このような森林の創生には、改良土の表層が、時間の経過に伴い性状が変化し植生基盤として成立することが条件となる。そこで、緑化施工後4年が経過した時点におけるセメント改良土表層の化学性等を分析し、改良土が植生基盤に近づく性状の変化について調査した。現在（施工後17年）では、様々な低・高木類が生育している。

キーワード：法面造成，生物多様性，緑化，セメント改良土，土壌断面調査，植生基盤

## 1. はじめに

現在、自然と共生する社会の実現と地球環境の保全が重要な課題となっている。このため、自然環境の価値を再認識し、長い歴史の中で育まれた地域固有の動植物や生態系その他の自然環境について、生態系の保全や生物種を保護するための取組を推進すべきことはもちろん、過去に損なわれた自然環境を積極的に取り戻す自然再生によって地域の自然環境を蘇らせることが必要となっている<sup>1)</sup>。

一方では資源の有効利用の面から、建設発生土を有効利用することが強く求められている。そのひとつとしてセメント添加による改質により盛土材料として用いる方法（セメント改良土）があるが、この特殊土地に対しても地域の自然環境との調和・配慮といった観点からの緑化が望まれている。しかしセメント改良土は、高い硬度、強いアルカリ性、難透水性および法表面が平滑などの特徴を有する。このような法面に大規模な緑化工を適用した事例は極めて少ない。

そこで実際に大規模に行われたセメント改良土法面の緑化工についてその適用性を検討するために、本施工の前に室内試験を実施し、また試験用盛土による現地緑化試験を実施した。その結果、植生成育の障害となる諸要因が経時変化および管理方法により緩和されることが示されたので報告する。

## 2. 工事の概要

東京電力(株)内房変電所敷地造成工事では、原位置土を有効利用するためにセメント添加により改質し、盛土を造成した。約30万m<sup>3</sup>の盛土施工により緩勾配(1:2.0)の人工法面が1万5千m<sup>2</sup>出現した。

この造成法面に対し、以下の観点から基材吹付工による緑化工法（表-1，図-1）を施した。

- ・周辺林地と整合させるための環境調和
- ・長期間の風化に対する法面保護

表-1 緑化工法

中層基材吹付	吹付厚5 cm
緑化基礎	菱形金網
種子配合	木本系を主体 (ハギ類, コマツナギ, 洋芝)

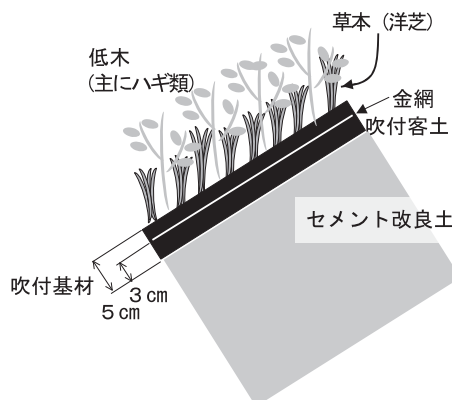


図-1 基材吹付工による緑化

表—2 試料土の物理的性質

試料名	自然含水比 %	土粒子の密度 g/cm <sup>3</sup>	間隙率 %	液性限界	塑性限界	粒度組成 (%)			
						礫	砂	シルト	粘土
砂	25.4	2.7	—	—	—	2	79	10	9
粘土	63.6	2.7	63.3	67.3	38.9	0	9	51	40

### 3. セメント改良土の物性試験

#### (1) 試験方法

試験試料土（砂および粘土）の物理的性質を表—2に示す。この試料土にセメントが添加されたセメント改良土についての基礎性状について調べた。

##### (a) 一軸圧縮強度と土壤硬度

試料土に20, 30, 40, 50 kg/m<sup>3</sup>のセメントを添加し、モルタルミキサーで3分間攪拌混合してセメント改良土を作成した。供試体（φ50 mm × H100 mm）を恒温室（室温20℃, 湿度60%）内で気中養生（7日）後、土質試験法JIS T511により一軸圧縮強度を測定した。また土壤硬度は、山中式土壤硬度計法により測定した。

##### (b) 中性化促進試験

試料土に70 kg/m<sup>3</sup>のセメントを添加し、モルタルミキサーで3分間攪拌混合した。供試体（φ100 mm × H200 mm）を恒温室（室温20℃, 湿度60%）内で気中養生（7日）後、恒温室およびCO<sub>2</sub>（濃度1%および5%）促進養生槽内にそれぞれ静置した。

中性化の測定は、所定材齢で供試体を切断し、切断面に1%フェノールフタレイン溶液を散布し、赤色変化した部分の平均深さを測定することにより求めた。

##### (c) 強度と含水比の関係

試料土に70 kg/m<sup>3</sup>のセメントを添加し、以下所定材齢で3. (1) (a) の試験方法と同様に一軸圧縮強度を測定した。さらにその供試体の含水比を測定した。

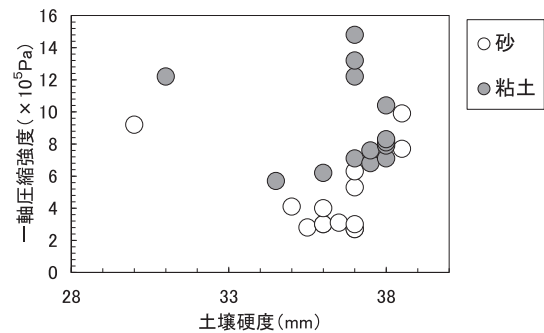
##### (d) 現位置試験場地盤の浸潤特性

土壤中に水が浸入または吸収される速度を測定するためにインテクレート法を実施した。28日養生後の現位置試験場地盤（セメント添加量85 kg/m<sup>3</sup>）の適当な位置に鉄円筒（H300 mm × φ250 mm）を打ち込み、中に水を10～20 cm 湛水し、水面高さの経時の変化を測定した。測定は3箇所にて実施した。

#### (2) 試験結果および考察

##### (a) 一軸圧縮強度と土壤硬度

一軸圧縮強度と土壤硬度との相関評価を図—2に示す。砂では土壤硬度と一軸圧縮強度との間に弱い相関が認められた。粘土では相関は認められず、特に土壤硬度37 mm 以上では一軸圧縮強度が7Pa 前後およ

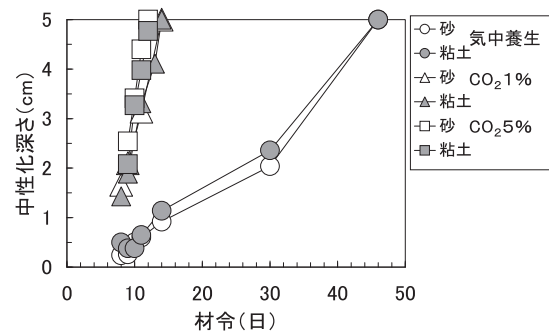


図—2 土壤硬度と一軸圧縮強度の相関

び12～15Pa と大きく2つのグループに分かれた。

##### (b) 中性化促進試験

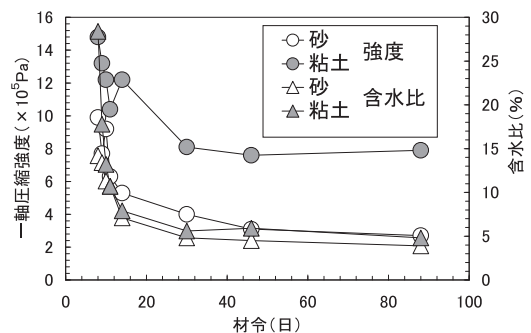
中性化の進行を図—3に示す。1次近似として中性化速度を求めれば、気中、CO<sub>2</sub>1%および5%でそれぞれ0.1 cm/day, 0.6 cm/day, 0.8 cm/day となる。



図—3 中性化深さ測定

##### (c) 強度と含水比の関係

供試体の材齢と一軸圧縮強度および含水比との関係を図—4に示す。含水比が小さくなるに伴い強度が低下した。また試料の含水比は材齢初期において著し



図—4 一軸圧縮強度および含水比との関係

く減少した。

(d) 原位置試験場地盤の浸潤特性

インテクレート試験で得られた水頭高さの経時変化を図-5に示す。いずれも積算浸入量は小さいことがわかる。また、浸入土の値の変化率が10%になるときの浸入度で定義される基準浸入度を求めれば、測定3地点の平均値として0.86 mm/hが得られる。土壤の流亡は表面流出水の発生と密接に関連し、基準浸入度が10 mm/h以下の場合、その発生程度が大きくなると報告されている<sup>2)</sup>。

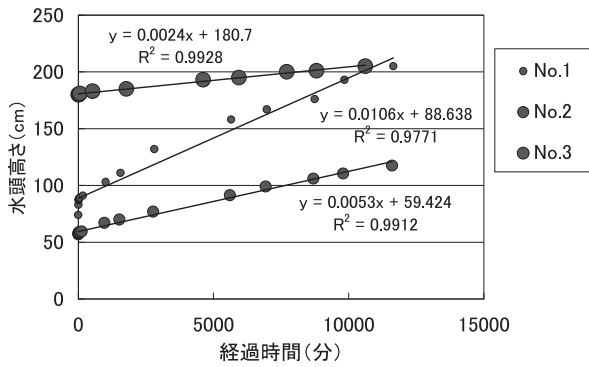


図-5 水頭高さの経時変化

セメント改良土は比較的大きな強度発現が期待でき、一般土壌に比べて侵食は少ないと考えられていた。しかし基準浸入度が小さいことから、乾湿繰り返しや凍結融解による表面劣化との相乗効果による侵食が発生する可能性があるかと推定できた。

(3) 物性試験結果のまとめ

室内試験の結果よりセメント改良土は気中のCO<sub>2</sub>によって比較的速やかに中性化が進む。また、時間の経過とともに一軸圧縮強度が低下することがわかった。したがって、造成直後の高い硬度および強いアルカリ性という植生基盤にとって不適切な状態が改善される可能性を示した。

インテクレート試験の結果からは、セメント改良土は表流水の発生と侵食の懸念があるため、法面保護のためには緑化による被覆が必要であると判断できた。

4. 現地緑化試験

(1) 試験方法

造成工事場所において試験用盛土(L70 m × W54 m × H3 m, 勾配1:2)を植生基材吹付工により植生基盤を形成した。構成材料を表-3に示す。また使用種子はマメ科木本(肥料木)のヤマハギおよびイタチハギ、マメ科草本のメドハギ、コマツナギそして芝草のバミューダグラスの5種を採用し、木本のヤマハギを主体とした種子配合で試験を実施した。

表-4に示すように試験条件として、ワラムシロ工、削孔および人工降雨装置を設置した。各々の条件による植生の違いについて調査した。

表-4 試験条件

A 地点	吹付基材厚 3 cm
B 地点	吹付基材厚 5 cm
C 地点	吹付基材厚 5 cm + ワラムシロ工*
D 地点	吹付基材厚 5 cm + 削孔**
E 地点	吹付基材厚 5 cm (人工降雨***)
F 地点	裸地 (人工降雨)
本施工区****	吹付基材厚 5 cm

\* ワラ ~ 350 g/m<sup>2</sup> 以上、目串 ~ L = 200 mm、針金製、4本/m<sup>2</sup>

\*\* 孔開仕上げ、φ 20 mm、L = 150 mm、9個/m<sup>2</sup>

\*\*\* 年間降水量(東京)の3倍量を半年間で降水 = およそ6倍の促進

\*\*\*\* 本施工区は試験盛土より造成・緑化施工が1年遅い

(2) 調査結果

(a) 植生基材の化学性

表-5に緑化施工3年経過時点の基材の化学性を示す。

表-5 施工3年経過時点の植生基材の化学性

基材厚	自然降雨			人工降雨		
	5 cm	3 cm	5 cm	3 cm	5 cm	5 cm
腐植 w/w%	36.8	40.0	36.9			
有効態リン酸 mg/100 g	246.6	297.8	217.3			
全窒素 w/w%	1.25	1.36	1.28			
塩基置換容量 me/100 g	83.1	93.5	83.0			

表-3 基材の構成材料

材料	配合目的	規格	数量 厚さ 1 cm/m <sup>3</sup>
用土	基盤の形成	植壤土(有機質含有量 40 ~ 50%)	37.6 L
養生材	基盤の安定	植物性繊維	14.4 L
土壤活性剤	土壌菌の活性化促進	アルギン酸ソーダ系	0.22 kg
良質肥料	養分供給(緩効性肥料)	①粒径 1 ~ 3 mm ②粒径 3 ~ 5 mm	① 0.10 kg ② 0.25 kg
侵食防止剤	耐食性の増大	特殊アスファルトエマルジョン	1.36 L
団粒剤	基盤の団粒化	アニオン性有機高分子	9.0 g

表一六 土壌診断の目安<sup>4)</sup>

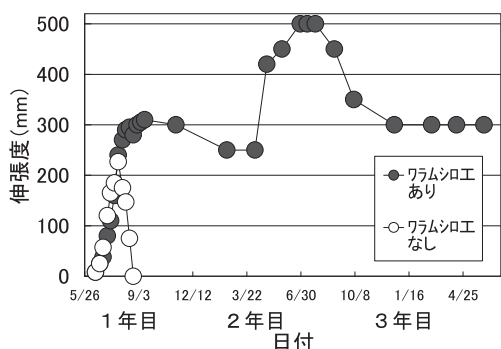
項目	単位	①優良	②正常	③改良	④難
腐植	%	10 ~ 15	5 ~ 10 15 ~ 20	0.5 ~ 5 20 ~ 30	0.5 以下 30 以上
有効態リン酸	mg/100 g	30 以上	10 ~ 30	10 以下	
全窒素	%	0.15 以上	0.08 ~ 0.15	0.03 ~ 0.08	0.03 以下
塩基置換容量	me/100 g	15	7 ~ 15	3 ~ 7	3 以下
pH		5.6 ~ 6.8	4.5 ~ 5.6 6.8 ~ 7.9	3.5 ~ 4.5 7.9 ~ 9.0	3.5 以下 9.0 以上
硬度中山式	mm	21 未満	21 ~ 24	24 ~ 27	27 以上

- ①優良…樹木の生育にとり優良である
- ②正常…多くの樹種が正常に生育する
- ③改良…若干の改良により多くの樹種が正常に生育する
- ④難 …樹木は正常に生育し難い

表一六の土壌診断の目安を参考にすると基材中の腐植、全窒素および有効態リン酸は極めて高い含有量を保持していた。植生基盤として優良であるといえる。

(b) ワラムシロ工

ワラムシロ工の有り (C 地点) と無し (B 地点) によるヤマハギの成育比較を図一六に示す。B 地点では緑化施工後3ヶ月で枯死したが、C 地点では生育状態が良好であった。表一七にヤマハギが枯死した時期の基材の含水比を示す。ワラムシロ工により含水比が約40~60%高くなり、これが成育の差として現れた要因の一つとして推察される。ワラムシロ工の乾燥防止効果が認められた。



図一六 ヤマハギの生育比較

表一七 ヤマハギが枯死した時期の基材の含水比

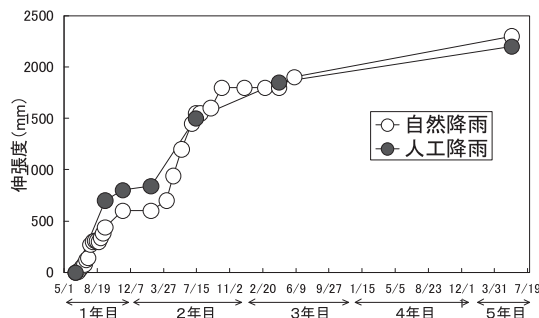
日付	ワラムシロ工	
	なし (B 地点)	あり (C 地点)
7 月	17.8%	28.6%
8 月	13.4%	19.0%

(c) 削孔

削孔の有無による植物の成育 (伸長度) の違いは認められなかった。目視観察により削孔内で細かい根が密生しているのが確認されたが、その根は孔から外 (改良土) へ伸長していなかった。

(d) 人工降雨

人工降雨法面および自然降雨法面におけるコマツナ



図一七 コマツナギの伸長度の経時変化

ギの伸長度の経時変化を図一七に示す。人工降雨降水期間である施工直後の半年間において人工降雨法面のコマツナギは自然降雨の1.4倍の成長を示した。しかし施工から1年を経過すると両者に違いは認められなくなった。

(e) 一般土壌との比較

敷地内の仮道法面はセメント改良土ではなく現地の一般土壌である。そこに比較のため同時期に緑化した。4年後のコマツナギの伸長度を比較するとセメント改良土法面は一般土壌法面の75~85%まで成長していた。

5. 土壌断面調査

植生基材によって覆われたセメント改良土の表層が緑化施工後4年を経過して植生基盤に近づいている状態について調査を実施した。また、表一四の試験条件の相違がセメント改良土表層の化学性の変化に及ぼす影響を調べた。

(1) 調査方法

表一四のA~F地点および本施工区においてセメント改良土表層より層位0~5cm, 層位5~10cm, および層位10~15cmで採土した。

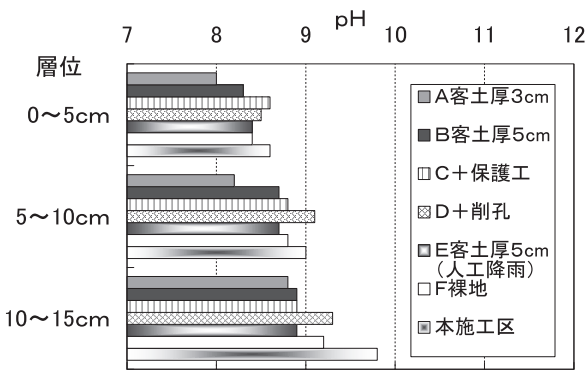
採土した各試料のpH (H<sub>2</sub>O) [ガラス電極法], 腐植 [チューリン法], 全窒素 [ケルダール法], 有効態

リン酸〔トルオーグ法〕およびバイオマスC〔くん蒸―抽出法〕について分析した。また各地点のセメント改良土深さ0～15cmの土壤断面で深さ方向2cm毎の土壤硬度〔山中式〕を調査した。

(2) 結果および考察

(a) pH (H<sub>2</sub>O)

図―8にpHの測定結果を示す。全ての地点で浅くなるに伴いpHは低下していた。層位0～5cmでは、pH8～8.6の範囲にあった。植物生育良好なpHは7.9以下なので(表―6)、依然としてやや高いpHであった。



図―8 層位ごとのpHの変化

削孔により深さ方向に表面積が広がり、空気中の二酸化炭素によりアルカリの低下が促進されることを期待していたがその効果は認められなかった。

本施工区はpHが高く、層位10～15cmでその傾向が著しかった。造成された時間の差(1年)がそのまま現れたと推定される。

(b) 土壤硬度

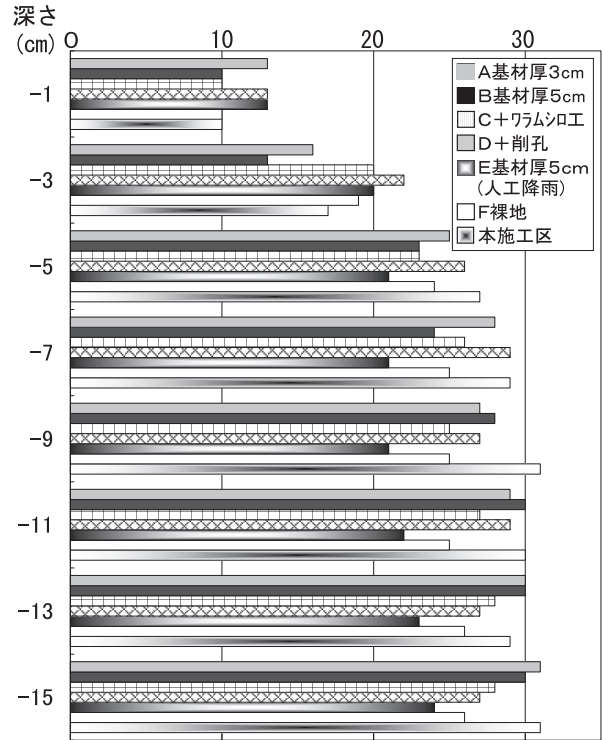
図―9に土壤硬度の測定結果を示す。全ての地点で深さ3cmより浅くなると土壤硬度25mm以下となった。深さ5cmでは21～27mmの範囲にあった。深さ5cm程度までは植物根が伸長できる土壤硬度に低下していたことがわかった。

人工降雨条件下では自然降雨地点に比べ土壤硬度の低下が促進されている傾向が認められた。特にE地点では深さ15cmまで土壤硬度が25mmより小さかった。

(c) 腐植

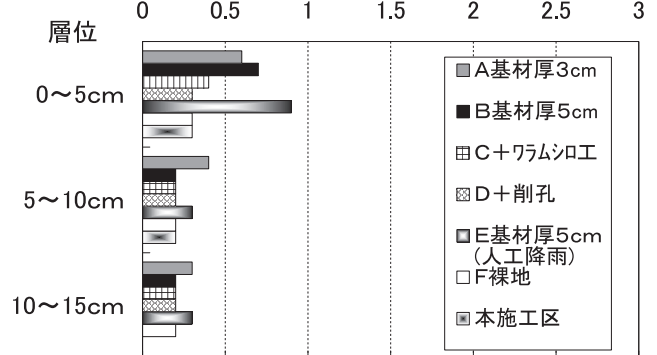
図―10に腐植含有量の分析結果を示す。若干の改良により多くの樹木が正常に生育する腐植含有量は0.5～5%である(表―6)。そしてA地点、B地点およびE地点において層位0～5cmで0.5%を超えていた。また全ての地点で層位0～5cmは層位5～15cmより腐植含有量が多かったことから層位5cmま

土壤硬度



図―9 層位ごとの土壤硬度の変化

腐植(w/w%)



図―10 層位ごとの腐植の変化

では緑化により腐植が供給されていると推定された。

(d) 有効態リン酸

図―11に有効態リン酸含有量の分析結果を示す。裸地ではすべての層位でおよそ4mg/100gであった。他の地点で4mg/100gより大きい試料は基材からのリンの供給が植物による吸収を上回った結果、また逆に4mg/100gより小さい試料は植物によるリンの吸収が基材からの供給を上回った結果と推察できる。

層位0～5cmではC地点を除いた全ての地点で4mg/100gより大きかった。特にE地点では多くの樹種が正常に生育する10mg/100g(表―5)を超えていた。層位10～15cmでは全ての地点で4mg/100gより小さくなった。植物根が深さ15cmまで達していることが確認されており、リン酸が植物に吸収され

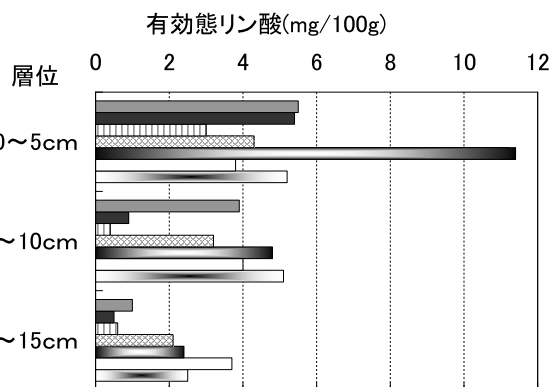


図-11 層位ごとの有機態リン酸の変化

たものと思われる。

(e) 全窒素

表-8に全窒素の分析結果を示す。ほとんど全ての試料が検出下限値以下またはそれに近い値であった。有機態窒素の蓄積が無く、無機態窒素はすべて植物に吸収されていると推定される。

E地点の層位0～5cmが0.05%と最も高かった。これは、「植物と共生している窒素固定菌の働き」と「基材からの溶脱」という2つの理由が考えられるが、人工降雨という条件によってどちらかがより促進される要因についてはさらなる調査が必要である。

(f) バイオマスC

図-12にバイオマスCの分析結果を示す。試験用盛土のA地点～F地点のうちC地点を除いて層位が浅くなるに伴いバイオマスCが大きくなる傾向が認められた。

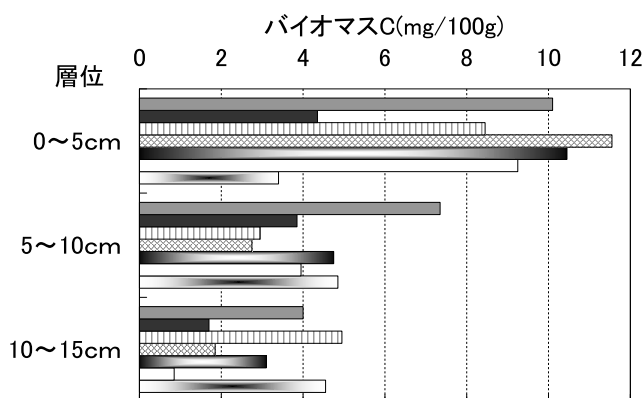


図-12 層位ごとのバイオマスCの変化

められた。各地点によって増減はあるものの植物の根圏域での土壌の活性化が進んでいる<sup>4)</sup>ことが推察できる。

ただし、裸地でも層位が浅くなるに伴いバイオマスCが大きくなる傾向が認められた一方で本施工区では3.4～4.9 mg/100gの範囲で層位ごとの変化はほとんどなかった。バイオマスCは粘土含量と高い相関があり、微生物バイオマス量は土壌の物質吸着・保持力と密接な関係があると考えられている<sup>5)</sup>。またバイオマスCの経年的な増加には、全炭素含量が深く関係しているという推察<sup>6)</sup>もあり、バイオマスCと土壌との関係を明らかにするためにはさらなる調査が必要と思われる。

(3) まとめ

ほとんどの地点において層位0～5cmではpHおよび土壌硬度の低下、リンの蓄積が認められた。またいくつかの地点の層位0～5cmでは腐植の蓄積が認められた。しかし、層位0～5cmが植生基盤となるためには、pHのさらなる低下および窒素分の補給が必要である。前者は時間の経過とともにCO<sub>2</sub>によってpHがさらに低下してpH7.9以下の植物生育良好な範囲に納まる可能性がある。しかし後者は、窒素固定菌に期待して現在よりも窒素分が増加することについては判断できない。確実な手段としては人為的な補給が必要と思われる。

人工降雨条件下の地点では他の地点に比べ土壌硬度の低下が著しく、窒素含有量および有効態リン酸量が大きくなった。施工初期の十分な灌水が層位0～5cmの4年後の土壌化学性にも良い影響を与えることがわかった。

6. 植生の遷移

本体造成盛土の緑化工が施された後、4～7年においては、耐陰性が劣る洋芝（バミューダグラス）が被圧され、コマツナギが優占し、その樹高は2m以上に達していた。施工後17年が経過した現在では、ア

表-8 層位ごとの全窒素量

層位 (cm)	A 地点	B 地点	C 地点	D 地点	E 地点	F 地点	本施工区
	基材厚 3 cm	基材厚 5 cm	基材厚 5 cm +ワラムシロ工	基材厚 5 cm +削孔	基材厚 5 cm 人工降雨	裸地 人工降雨	基材厚 5 cm
0～5	< 0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.05%	0.01%	< 0.01%
5～10	< 0.01%	< 0.01%	0.03%	0.01%	< 0.01%	0.02%	< 0.01%
10～15	0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	0.01%	< 0.01%	< 0.01%

カメガシワ（落葉高木）やシャリンバイ、ナワシログミ（常緑低木）が散見され、エノキ（落葉高木）が樹高4m程度まで生育していた。また、クスノキ（常緑高木）やスイカズラ（常緑木本性蔓性植物）も見られ、郷土植物の侵入が確認されている。

## 7. おわりに

緑化施工後4年が経過した時点でセメント改良土の表層から深さ0～5cmでは、pHおよび土壌硬度の低下、リンおよび腐植の蓄積が認められた。時間の経過にともない表層から5cmよりも深い層位まで植生基盤に近くなっているため、施工17年後の現在、様々な低・高木類が生育していると推察できる。今後、土壌断面調査を実施することで、セメント改良土表層の性状変化と森林創生との関係を明らかにしていきたいと考えている。

## 謝 辞

本研究は、内房変電所敷地造成工事に伴い東京電力(株)殿より受託試験として実施したものと、その後の追跡調査を取りまとめたものである。その間、東京電力

(株)殿各位をはじめ、特に送変電建設センター（現在の奥山一夫所長（当時）および高松進主任（当時）には多大なるご指導・ご助言をいただいた。また(株)東植からは植生関係資料をご提供いただいた。記して感謝の意を表する。

JCM A

## 《参考文献》

- 1) 環境省,「自然再生基本方針 PDF版」, p.1, 2003.4
- 2) 日本土壌肥科学会編,「移動現象」, 博友社, p.149, 1987
- 3) 小橋澄治ほか,「環境緑化学」, 朝倉書店, p.158, 1992
- 4) 細山田健三ほか,「不織布を用いたシラス法面の土壌侵食防止工法」, 農業土木学会誌, Vol.66, No.9, pp.19～25, 1998
- 5) 坂本一憲,「土壌中のバイオマス量およびその呼吸活性に影響する諸因子の解析」, 日本土壌肥科学雑誌, Vol.66, No.3, pp.213～214, 1995
- 6) 鈴木創三ほか,「エコロジー緑化工法造成林における植生と土壌の経年変化」, ベドロジスト, Vol.42, No.1, pp.33～42, 1998

## 【筆者紹介】

白石 祐彰（しらいし ひろあき）  
 (株)奥村組  
 技術研究所 土木研究課

