

焼石膏を複合した浄水ケーキの 緑化基盤材としての適応性に関する研究

SUITABILITY OF TREATED SLUDGE PRODUCED FROM WATER PURIFICATION PROCESS AND MIXED
WITH BURNT GYPSUM AS GREENING BASE MATERIAL

田辺和康*・富田武満*・山田幹雄**・佐野博昭***

by Kazuyasu TANABE, Takemitsu TOMITA, Mikio YAMADA and Hiroaki SANO

1. はじめに

浄水ケーキは、私達が上水道として利用している水道水を作る時に発生するスラッジを凝集・脱水したものである。水道水の原水は河川や湖沼であり、その源は地表水が主体となる。この原水を生活用水として使用するためには、浄水場で水道法に定められた水質基準まで浄化することが必要である。近年は水需要量の増大にともない浄水ケーキの発生量は急増傾向にあり、その処理・処分が社会問題となっている。

浄水ケーキは河川の浮遊物や土砂が主要な部分を占めており、下水汚泥や海域ヘドロなどと比べて有害物質の混入は少なく、比較的安全な材料といえる。この浄水ケーキを再資源材料として先駆けた研究は農業分野で、1970年代の後半から鎌田ら^{1)~4)}、戸田ら⁵⁾、麻生ら^{6)・7)}により、農地利用培土への転用が積極的に進められている。これらの報告において、浄水ケーキの性質が浄水場によって極めて多様であり、検討すべき問題も多いことが指摘されている。これは、日本全国にローカルソイルが存在していること、周辺環境や浄化処理方法の相違に起因している。したがって、浄水ケーキの物理的および化学的特性を把握したうえで、用途・用法別に対処することが必要である。

このような状況のなかで、近年は緑化基盤材として利用するための研究が行われるようになってきた。例えば、佐藤ら⁸⁾は芝草の一種であるクリーピングベントグラスの生育調査を行って良好な結果を得ている。加藤ら⁹⁾は土壌の肥沃化と膨軟性のあることを明らかにし、角田ら¹⁰⁾は保肥力の改善効果のあることを報告している。また、大木¹¹⁾、大沢ら^{12)・13)}は電解処理した上水汚泥を法面緑化基盤材として再利用するための基礎研究と実用化について検討を行い、多くの成果をあげている。

このように、浄水ケーキは培土や植生基盤材として

再利用できるまでに研究が進められている。しかし、浄水ケーキの発生時の含水比が100~300%と高く、軟弱であり、乾燥すると収縮して解砕困難となるなど、非常に取扱いの難しい材料である。したがって、再資源材料として多方面で利用するためには、この問題の解決策が重要となる。

筆者らは、浄水ケーキに産業副産物である焼石膏を複合して改良を試みた結果、粒状化した形状を呈し、取扱い易い材料とすることができた。この焼石膏で処理した緑化基盤材の適応性を追求した報告はこれまで見当たらない。本報では、広島県福山市中津原の浄水ケーキを対象として、その処理土の基礎的知見を得ることを目的とし、野外実験による植生調査と緑化基盤材の理工学特性について検討を行った。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

用いた試料の浄水ケーキの排出量は過去10年間でみると3000t/年で推移している。また、浄水過程の薬剤処理は汚泥池の汚濁度状況から判断して、ポリ塩化アルミニウムと硫酸アルミニウムに使い分けられている。ここで用いた浄水ケーキは、硫酸アルミニウム処理によるものである。その物理化学的性質を表-1に、蛍光X線分析による定量結果を表-2に示す。表-1の結果をみると、浄水ケーキは粘土とシルトで構成されており、液性・塑性限界の高いことが特徴である。強熱減量値は30.9%と高く、硫酸アルミニウム処理による化合水が影響しているようである。また、表-2の化学組成をみると、 Al_2O_3 の含有量が高い値を示しているが、これも硫酸アルミニウム処理による影響である。その他の化学組成は原水周辺の地質が花崗岩で構成しており、それに近い分析値となった。

2.2 実験方法

浄水ケーキの大部分は厚さ約25mm、幅約50mm、長さ約80mmの板状を呈し、その初期含水比は170

* 福山大学 工学部建設環境工学科

(〒729-0292 広島県福山市学園町一番地)

**福井工業高等専門学校 環境都市工学科

***大分工業高等専門学校 都市システム工学科

表-1 浄水ケーキの物理化学的特性

土粒子の 密度 (g/cm ³)	液性 限界 (%)	塑性 限界 (%)	塑性 指数 (%)	粒度分布(%)			pH	EC (mS/cm)	Eh (mV)	Lig (%)
				粘土	シルト	細砂				
2.38	222.5	118.7	103.8	42	58	0	7.36	2.53	280	30.9

表-2 浄水ケーキの化学組成

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
54.429	31.707	6.252	1.903	1.137	1.060
K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂
1.576	0.571	1.382	0.385	0.014	0.024

表-3 浄水ケーキと植生培土の配合比

基盤材	A	B	C	D	E	F	G	H
浄水ケーキ	100	—	50	30	20	50	30	20
植生培土 A	—	100	50	70	80	—	—	—
植生培土 B	—	—	—	—	—	50	70	80

～200%と高い状態であった。本研究では、浄水ケーキの取扱いを容易にするために、焼石膏（石原産業㈱）を使用するものとし、図-1 に示す手順で造粒化処理を行なった。その時の粒状化ミキサーには(株)北川鉄工所のペレガイア（パンタイプ強制練、容量 60ℓ）を使用した。

緑化基盤材の作製は、粒状化した浄水ケーキのみでは植物は生育しにくいと判断して、2 種の植生培土を併用した（これ以後、緑化基盤材を基盤材と称する）。表-3 は浄水ケーキと植生培土の配合比を示す。ここで、植生培土 A は有機資材（バーク堆肥、ピートモス、ココナッピート等を原料とする）を混合したものであり、植生培土 B は植生培土 A に 2000 μm ふるい通過の木材チップを配合している。なお、浄水ケーキと植生培土の配合は容積比とした。

基盤材の作製にあたっては、斜面上に設置した縦 710mm×横 710mm×高さ 100mm の型枠に試料を入れて、人力で静的に締固めた。なお、植物の生育過程で根が基盤材を貫通しないように、斜面表層部にビニールシートを張りつけ、その上面に施工している。

- ・施工場所：広島県府中市諸毛（標高 450m，南斜面，1 割勾配）
- ・施工時期：2003 年 9 月 18 日
- ・基盤材の作製：表-3 の配合条件のもとで、次のように行った。

種子：トールフェスク，メドハギ

播種量：一般的に用いられている単位面積当たりの算定式より求めた。ここでは、発生期待本数を両種子=1000 本/m²，厚さ補正係数=トールフェスク；0.4，メドハギ；0.2，立地補正係数=1.0，

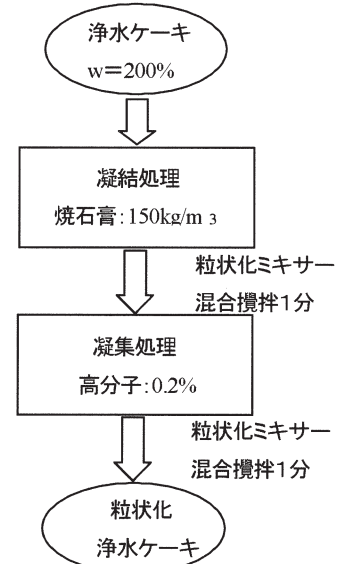


図-1 造粒処理の流れ

施工時期の補正係数=1.0，発芽率=トールフェスク；0.94(%)，メドハギ；0.79(%)，種子の粒数=トールフェスク；400(粒/g)，メドハギ；720(粒/g)，種子の純度；1.0として，トールフェスク；3.7kg/m³，メドハギ 2.1 kg/m³を配合した。

植生調査と基盤材の理工学特性については、以下の検討を行った。

1) 植生調査

播種 1 ヶ月後と 2 ヶ月後の調査はコドラート法により生育本数と草丈を調べ、2 ヶ月後は生体重量も調べた。

2) 理工学的特性

植生調査終了後の基盤材を用いて、次の試験項目

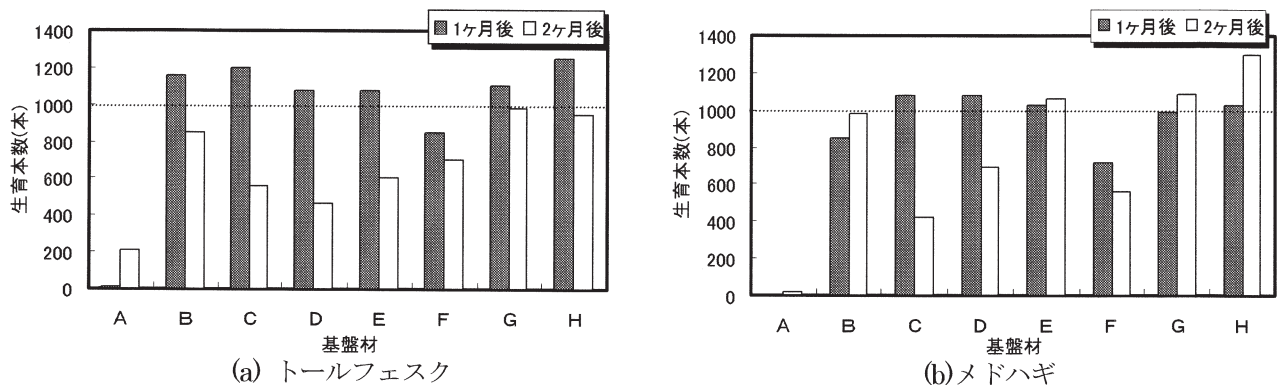


図-2 基盤材が生育本数に及ぼす影響

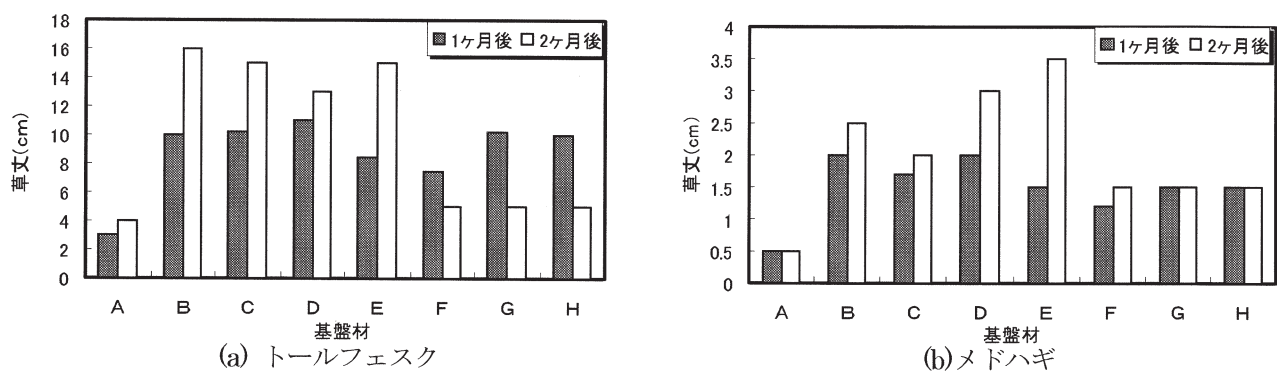


図-3 基盤材が草丈に及ぼす影響

について検討した。pH, EC, Eh, 透水性能, pF, 土壌硬度, 三相分布を求めた。なお, 基盤材 A については試験体の作成が不可能なものも有り, 実施していない試験もある。

3. 結果と考察

3.1 植生調査

植生調査では, 施工実績のある植生培土 A のみの基盤材 B を対照基盤として検討した。

図-2 (a), (b) はトールフェスクとメドハギの生育本数を A~H の基盤材ごとにまとめたものである。

(a) のトールフェスクの調査結果をみると, 浄水ケークのみの A は植生状況が悪く, 植生培土の必要性が認められた。つぎに, 発生期待本数 1000 本/m²を期間別にみると, トールフェスクの播種 1 ヶ月後は F のみが期待本数を下回り, 播種 2 ヶ月後は A を除く全てに生育本数の減少が認められた。基盤材の評価としては G と H が有効である。(b) のメドハギについてもトールフェスクと同様な傾向で推移しているが, ここでは E, G, H の有効性が認められた。

図-3 (a), (b) は 8 種類の基盤材での草丈を比較したものである。(a) のトールフェスクの草丈を播種 2 ヶ月後でみると, F, G, H の草丈は衰退しており, (b) のメドハギについても同様の結果となった。こ

れは, 植生培土 B に木材チップを配合していることが原因で, 微生物の増殖にともなう窒素飢餓の影響により草丈の伸長が抑制されているものと推察される。

図-4 は生体重量と基盤材の関係を示す。対照基盤材 B の生体重量から各基盤材を比較すると, D は同値で C と E はそれを上回っており, 植生培土 A の配合が植物の生育に有効であることが明らかとなった。

表-4 は, 植物の発芽と生育状況を目視調査より判断した。評価は対照基盤材 B を基準値 100 としている。その結果, 生育に適している基盤材は E, D, C の配合条件が最適と認められた。また, 現地調査から A, C, F の基盤材は乾燥収縮に伴うクラックが生じていた。これら基盤材は降雨時の浸食が懸念され, 緑化基盤材として利用することはできない。

3.2 理工学特性

図-5 は基盤材に対する pH 値と EC 値の関係を示す。浄水ケークのみの基盤材 A は pH 7.36 で, 植生培土のみの基盤材 B は pH 6.7 の結果が得られた。これらを配合処理した基盤材の pH 値は 6.7~7.20 の範囲であり, 植物の生育に適正な pH 値の 6 前後よりも高い結果となった。EC 値については, 植生培土のみの基盤材 B は 0.7mS/cm であるのに対して浄水ケークを配合した基盤材は約 4 倍(2.5 mS/cm)の結果を

表-4 植生調査の評価

基盤材	播種 1 ヶ月後		播種 2 ヶ月後		総合評価
	生育状況	評価	生育状況	評価	
A	T と M : 生育本数が非常に少なく生育不良	0	T : 発芽しているが生育不良 M : 発芽しているが生育不良	0	0
B	T : 発芽, 生育状況ともに良好 M : 発芽数は少ないが生育良好	100	T : 生育旺盛 M : 発芽, 生育状況ともにやや良好	100	100
C	T : 発芽, 生育状況ともに良好 M : 発芽, 生育状況ともにやや良好	90	T : 生育旺盛 M : 発芽, 生育状況ともにやや良好	100	95
D	T : 発芽, 生育状況ともに良好 M : 発芽, 生育状況ともにやや良好	90	T : 生育旺盛 M : 発芽, 生育状況ともにやや良好	110	100
E	T : 発芽, 生育状況ともに良好 M : 発芽, 生育状況ともに良好	100	T : 生育旺盛 M : 発芽, 生育状況ともに良好	120	110
F	T : 発芽, 生育状況ともに悪い M : 発芽, 生育状況ともに悪い	20	T : 発芽数は良好, 生育は悪い M : 発芽, 生育状況ともに悪い	20	20
G	T : 発芽数は良好, 生育状況は悪い M : 発芽数は良好, 生育状況は悪い	30	T : 発芽数は良好, 生育は悪い M : 発芽数は良好, 生育状況は悪い	30	30
H	T : 発芽数は良好, 生育状況は悪い M : 発芽数は良好, 生育状況は悪い	40	T : 発芽数は良好, 生育は悪い M : 発芽数は良好, 生育状況は悪い	30	35

ここで, T : トールフェスク, M : メドハギと略記する。

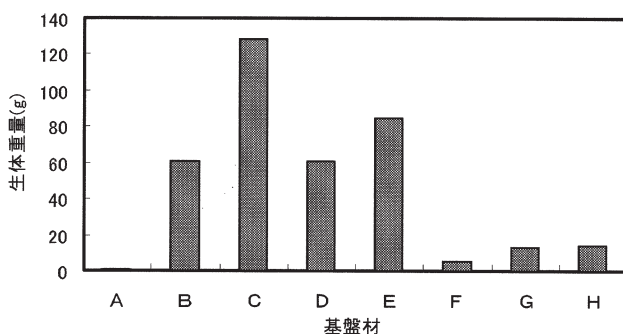


図-4 基盤材が生体重量に及ぼす影響

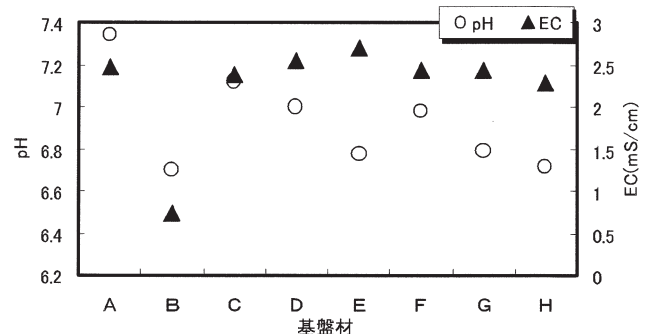


図-5 基盤材がpHとECに及ぼす影響

示した。植物が生育する適正基準値は $0.5 \sim 1.2 \text{ mS/cm}$ の範囲内であり, 浄水ケーキを配合した EC 値は $2.45 \sim 2.6 \text{ mS/cm}$ と高く基準値を超えている。よって, 植物の生育障害を引起こすことが示唆される。

図-6 は Eh 値と基盤材との関係を示す。Eh 値は $300 \sim 342 \text{ mV}$ の範囲で変動し, 浄水ケーキは植生培土よりも酸化状態にあるといえる。また, 浄水ケーキを配合することで Eh 値はわずかに上昇し, 酸化状態へ進む傾向にあることが認められた。

図-7 は山中式土壤硬度計を用いて測定した結果を示す。土壤硬度が 10 mm 未満の場合は, 乾燥にともなう発芽不良が懸念される。また, 粘性土の土壤では, $10 \sim 23 \text{ mm}$ の硬度は根系の伸長が良好となり, 草本類では肥沃な土となることが知られている¹⁴⁾。今回の結果では, いずれの基盤材も $10 \sim 23 \text{ mm}$ の範囲内にあり, 植物の生育基盤材としては適正な条件であることが認

められた。

図-8 は基盤材の透水試験結果を取りまとめたものである。透水性能をみると, 基盤材 B~E は 10^{-2} cm/sec の範囲で, 基盤材 F~H は 10^{-1} cm/sec の範囲であることが認められた。ここで, 施工実績のある対照基盤材 B が根系への養分や酸素の供給に適当な透水性能であるとするならば C と, D 及び E が緑化基盤材として適応している。

図-9 は pF 値と含水比の関係を示す。pF 水分曲線を概観すると, pF1.7 までの重力水領域と pF4.2 以上の吸着水領域の含水比は幅を持ち, pF1.7~pF4.2 の毛管水領域の含水比幅は小さく変化している。植物が利用する範囲は pF3 前後であり, その範囲の含水比が重要となる。得られた結果の全てが高含水比付近にあり, 水分保持力を有する基盤材であることが認められた。

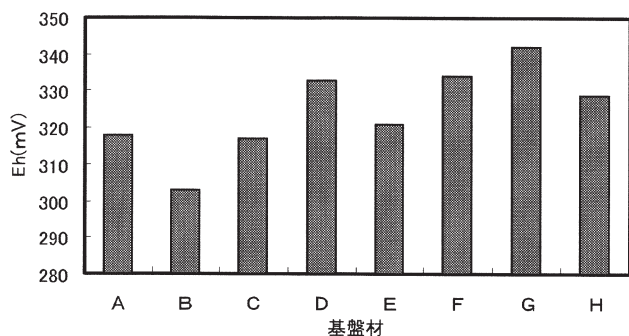


図-6 基盤材がEhに及ぼす影響

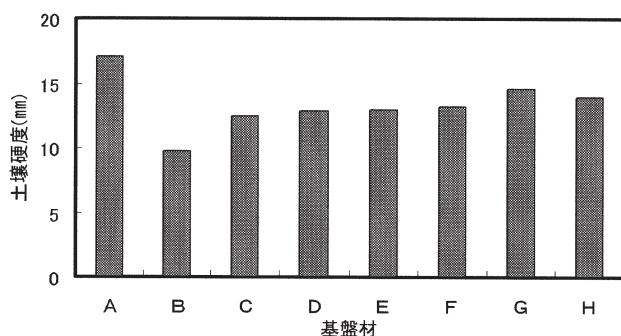


図-7 基盤材が土壌硬度に及ぼす影響

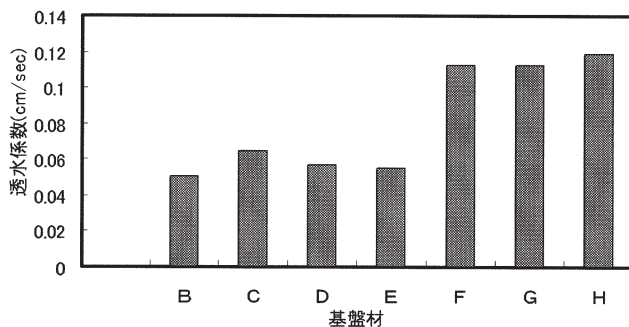


図-8 基盤材が透水係数に及ぼす影響

図-10 は基盤材の三相分布の結果を示したものである。一般に植物の生育は固相率が低く気相率が高い状態が望ましいといわれている。ここでは、C, F, D, G, H, E の順にその条件を満たしている。浄水ケーキの配合割合が高まるにつれて固相率は増加し、気相率は逆に低下した。したがって、浄水ケーキの配合割合は30%程度が上限と考えられる。

4. おわりに

浄水ケーキの再資源化を図ることを目的として、緑化基盤材の適応性について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 浄水ケーキに焼石膏を混入することで、造粒化を図ることが可能となり、取扱い易い材料へと改良

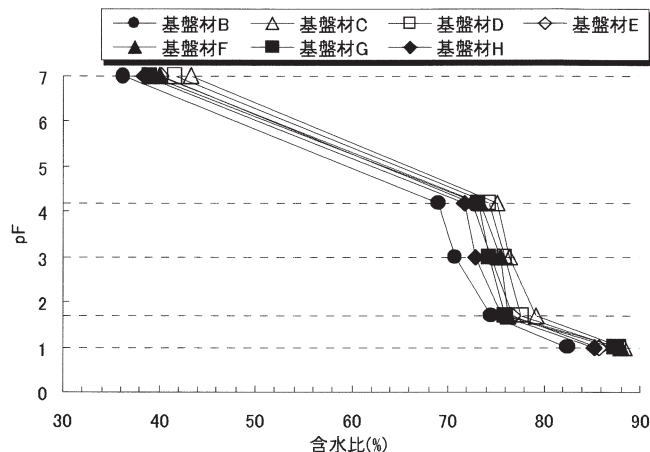


図-9 基盤材がpF値に及ぼす影響

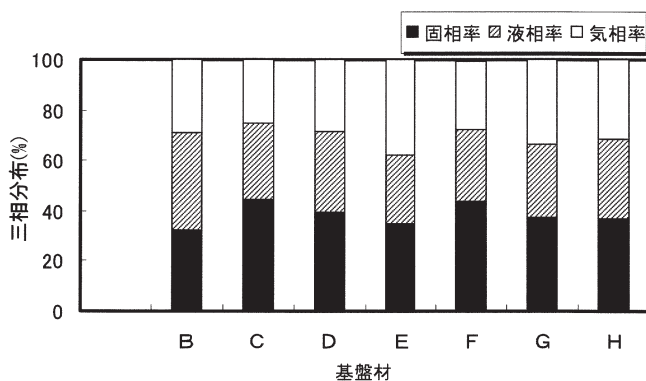


図-10 基盤材が三相分布に及ぼす影響

することができた。

- (2) 浄水ケーキのみでは乾燥収縮が著しく、基盤材としての利用はできない。また、植物の生育状態も悪いことが明らかとなった。
- (3) 浄水ケーキに有機資材を配合することで、植物の発芽や生育を改善することができた。しかし、浄水ケーキの割合は30%程度が上限であることが認められた。また、木材チップを配合した基盤材は植物の生育を抑制している。これは、窒素飢餓の影響によるものと考えられる。
- (4) 浄水ケーキは水分保持能を有していることが特徴であり、それが緑化基盤材としての役割を果たしている。

今後の課題として、木本類の適応可能性について検討していく予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、アマノ企業(株) 中井一彦氏、(株)北川鉄工所 勝部英一・中垣恵司の両氏には何かと便宜を図って頂いた。また、各種試験および結果の整理には、福山大学工学部建設環境工学科卒業研究生諸君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鎌田春海,井上隆弘,郷間光安,松崎敏英(1977) 浄水場排水処理汚泥の農業利用 (第 1 報), 神奈川県農業総合研土壤肥料研究成績 第 9 号,16-25.
- 2) 鎌田春海, 山田裕,藤原俊六郎,郷間光安,松崎敏英 (1978) 浄水場排水処理汚泥の農業利用 (第 2 報), 神奈川県農業総合研土壤肥料研究成績 第 10 号,14-27.
- 3) 鎌田春海, 山田裕, 小林宏信,津村昭人,小倉健,田畑敏正,高部弘,有川彰浩,志賀美奈子,有満秀信 (1979) 浄水場排水処理汚泥の農業利用 (第 4 報), 神奈川県農業総合研土壤肥料研究成績 第 11 号,39-44.
- 4) 鎌田春海, 山田裕, 井上隆弘,郷間光安, 藤原俊六郎,松崎敏英(1982) 浄水汚泥の農業利用に関する開発研究, 神奈川県農業総合研究所研究報 第 123 号,1-16.
- 5) 戸田鉦一,戸波多美子,大森榮一,安田典夫,広瀬和久,石川裕一,米野泰滋 (1982) 浄水汚泥の農業利用に関する研究, 三重県農業技術センター研究報告 第 8 号,73-80.
- 6) 麻生末雄,麻生昇平,武長宏,吉羽雅昭,米安晟,狩俣貴清(1982) 浄水場発生ケーキの農業利用,農業および園芸,第 57 巻,第 1 号,221-226.
- 7) 麻生末雄,麻生昇平(1982) わが国における浄水処理ケーキの種類と理化学特性, 農業および園芸, 第 61 巻,第 6 号,661-667.
- 8) 佐藤裕隆,角田真一,野中晃,浅野義人(2000) 浄水ケーキの施用が土壌の物理・化学性及びクリーニングベントグラスの生育に及ぼす影響,日本緑化工学会誌,第 25 巻,第 4 号,361-366.
- 9) 加藤和夫,小堀英和,門松慎,角田真一,佐藤裕隆 (2000) 浄水ケーキの植栽基盤への施工事例,日本緑化工学会誌,第 25 巻,第 4 号,575-578.
- 10) 角田真一,佐藤裕隆,加藤和夫,野中晃,大平政喜,笹本和好,上田純郎(2001) 浄水ケーキを主体とした土壌改良資材の施用が砂質土壌の物理・化学性および緑化用植物の生育に及ぼす影響,日本緑化工学会誌,第 27 巻,第 1 号,168-171.
- 11) 大木宜章,石田哲郎,関根宏(1996) 電解処理した上水汚泥の再資源化への検討,土木学会論文集, No. 533/II-34,247-254.
- 12) 大沢吉範, 大木宜章,石田哲郎,関根宏(1999) 電解処理した上水汚泥法面緑化基盤材への適用, 土木学会論文集, No.629/VII-12,47-55
- 13) 大沢吉範, 大木宜章,石田哲郎,関根宏(2003) 現場による上水汚泥を用いたのり面緑化基盤材の実用化への検討, 土木学会論文集, No.734/VII-27,119-128
- 14)(社)日本道路協会(1999) のり面工・斜面安定工指針,221

(2006年1月10日受付 2006年2月6日受理)