

# 濁水処理に伴う脱水ケーキの 土壌緑化基盤材への改良に関する基礎的研究

山田僚一<sup>1</sup>・須藤芳雄<sup>2</sup>・丸山俊朗<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 水産修 佐藤工業株式会社 中央技術研究所 (〒243-0211 神奈川県厚木市三田47-3)

<sup>2</sup>正会員 工修 佐藤工業株式会社 土木本部 (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-20)

<sup>3</sup>正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1)

建設工事における濁水処理工程から発生する脱水ケーキは、完熟堆肥等の有機資材を混合することで物性改善を施し、植物が生育し得るような土壌緑化基盤材として再利用することが可能である。原料となる脱水ケーキは、発生源が異なるとその物性が大きく異なる。このような初期物性の異なる脱水ケーキに対して、有機資材混合による改良方式を適用させるために、脱水ケーキの具備すべき初期条件をいくつか明らかにした。すなわち、有機資材の嫌気分解を防ぐためには脱水ケーキの含水比を液性限界値以下にすること、土壌微生物の活性を促進させるためにpHを9以下にすること、改良土の物性を適切な値にするためには脱水ケーキの初期含水比がより低い方がよいこと、などが判った。

**Key Words :** construction waste, dewatered cake, recycle, vegetative soil base, compost

## 1. はじめに

建設工事に伴って発生する濁水は、水処理工程を経て清澄な処理水と脱水ケーキとに分離される。脱水ケーキの発生量は、ダム工事等の大規模建設工事においては数万 $m^3$ から数十万 $m^3$ に及ぶことがある。このような脱水ケーキは、従来、産業廃棄物として処分されてきたが、建設副産物の再利用に対する社会的要求が高まるなか、再利用することを求められる場面が増えつつある。脱水ケーキを含む建設汚泥の再利用率は、建設副産物のなかで最も低く、その再利用率の向上が強く求められている。

このような背景のもと、筆者らは建設工事現場から発生する脱水ケーキを、植物の生育し得る土壌緑化基盤材(以降、植生土壌と称する)として再利用することを試みてきた。脱水ケーキは土砂粒子の緻密な集合体であるため、水に接触すると容易にもとの泥水状態に戻り、乾燥すると固結してしまうなど、植物根の伸張に適した物性とはいえない。本技術は、脱水ケーキに完熟堆肥等の有機資材を混合し、好気条件下で養生させることにより、脱水ケーキの物性を植物が生育し得る物性に改善しようとするものである。すなわち、脱水ケーキに土壌物理性の改善効果に優れるバーク堆肥<sup>1)</sup>と、土壌化学性・肥料面での改善効果に優れる発酵鶏糞堆肥<sup>1)</sup>を混合して、脱

水ケーキを植物根の伸張が可能な物性に改良しようとするものである。このような有機資材を混合することによって、腐植物質や微生物なども供給されるので、単なる土砂粒子の集合体であった脱水ケーキに、肥沃な土壌において観察される団粒構造を発達させる<sup>2)</sup>ことが期待できる。

本技術の適用実績には、宇奈月ダム(富山県)建設工事において、法面緑化や河川敷の緑地整備に土壌基盤材として再利用した例<sup>3)</sup>がある。

工事濁水の処理に関する研究では、処理水の水質改善を目的とした研究事例<sup>4), 5), 6)</sup>は多くみられるものの、産業廃棄物として処分されてきた脱水ケーキ自体に着目し、その物性について報告した例<sup>7)</sup>は極めて少ない。脱水ケーキの植生土壌化技術を確立させていくには、まず、原料となる脱水ケーキの物性を明らかにし、脱水ケーキの初期物性の違いが物性改良に与える影響を把握しておく必要がある。

そこで、本研究では、はじめに(1)発生源が異なる脱水ケーキの物性分析を行って、その特性を定量的に明らかにし、次に(2)初期物性の異なる脱水ケーキの有機物混合による植生土壌への物性改善を行なう際に、脱水ケーキの具備すべき初期物性を定量的に明らかにすることを目的とした。

表-1 供試脱水ケーキの概要

ケーキ種類	概要
ケーキ A	ダム工事・骨材製造プラントからの濁水を処理した際に発生した脱水ケーキ。 骨材原石は、川砂利。
ケーキ B	ダム工事・骨材製造プラントからの濁水を処理した際に発生した脱水ケーキ。 骨材原石は、トンネル掘削スリ(砂岩、はんれい岩が主体)。
ケーキ C	TBM によるトンネル掘削濁水を処理した際に発生した脱水ケーキ。 地山は火山礫凝灰岩、凝灰岩が主体。

表-2 各種脱水ケーキの物理特性の比較

項目	脱水ケーキの種類			
	ケーキ A	ケーキ B	ケーキ C	
含水比 (%)	33	31	49	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.82	2.78	
粒度分布	粘土 (%)	21	28	40
	シルト (%)	54	60	59
	細砂 (%)	22	12	1
	粗砂 (%)	3	0	0
コンシス	液性限界 (%)	27.9	34.0	51.8
	塑性限界 (%)	10.9	12.8	30.1
	塑性指数 (%)	17.0	21.2	21.7
外観(自立性の有無)	あり	なし	あり	

## 2. 各種脱水ケーキの物性把握

### (1) 供試脱水ケーキ

脱水ケーキの物性把握のため、発生源の異なる 3 種の脱水ケーキを分析に供した。表-1 に供試脱水ケーキの概要を示す。濁水の処理方式は、いずれもポリ塩化アルミニウムおよび高分子凝集剤の添加による凝集沈殿方式であり、脱水はフィルタープレスによるものである。

### (2) 分析方法

脱水ケーキの含水比、密度、粒度分布、および液塑性限界試験などの物理特性の分析は土質試験法<sup>8)</sup>に拠った。理化学特性の分析は、pH はガラス電極法<sup>8)</sup>、強熱減量は土質試験法<sup>8)</sup>、腐植および有機炭素はチューリン法<sup>9)</sup>、全窒素はケルダール法<sup>10)</sup>、陽イオン交換容量(CEC)はセミマイクロショーレンベルガー法<sup>10)</sup>、リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム

表-3 各種脱水ケーキの理化学特性の比較

項目	脱水ケーキの種類			
	ケーキ A	ケーキ B	ケーキ C	
pH	8.3	11.8	8.8	
強熱減量 (%)	2.3	6.3	6.6	
腐植 (g/kg)	5	6	12	
有機炭素 (g/kg)	3	3	7	
全窒素 (g/kg)	<0.1	<0.1	0.2	
C/N 比	計算不可	計算不可	35	
CEC (cmol(+)/kg)	8.2	10.3	11.9	
リン酸吸収係数 (g/kg)	10.3	13.1	11.0	
交換性陽イオン	K (cmol(+)/kg)	0.04	0.42	0.61
	Ca (cmol(+)/kg)	0.43	0.82	1.08
	Mg (cmol(+)/kg)	0.08	0.25	0.35
	Na (cmol(+)/kg)	0.04	0.16	0.19
	Mn (mg/kg)	3.93	0.34	2.19
	陽イオン飽和度 (%)	7.2	16.0	19.8

液法<sup>10)</sup>に拠った。交換性陽イオン類は CEC 抽出液中の各成分を原子吸光法<sup>10)</sup>によって定量した。有害物質については、土壌環境基準<sup>11)</sup>に定められた項目のうち、重金属類(カドミウム、鉛、全シアン、六価クロム、ヒ素、総水銀、アルキル水銀、有機リン化合物、PCB、セレン、銅)の溶出試験<sup>12)</sup>を行なった。

### (3) 分析結果および考察

#### a) 物理特性

表-2 は発生源が異なる 3 種類の脱水ケーキについて、その物理特性の試験結果を示したものである。3 種の脱水ケーキの物理特性を相互に比較して、大きな差違が認められた項目は、含水比、粒度分布、および液性限界値といえる。発生時の含水比では、ケーキ B とケーキ C の間では約 20 %の差が認められた。粒度分布に関しては、ケーキ A が砂分を 25 %含むのに対して、ケーキ C では 1 %であり、粘土、シルト質の細粒分で構成されている。液性限界についてもケーキ A では 27.9 %であるのに対してケーキ C では 51.8 %と、約 24 %の差を示した。脱水ケーキ自体の外観・性状も、ケーキ A とケーキ C が、非常に硬く自立性を有するのに対し、ケーキ B は、軟らかくて自立性が無く、外部から振動刺激を与えると水分が遊離してくるような状態を呈していた。

同一の水処理方式によって発生する脱水ケーキで

あっても、その物理特性には大きな差があることが認められた。このように各物性値に差が生じる原因としては、水処理時の処理条件の相違や、脱水時の機械的条件の相違、さらに流入原水中の濁質自体の粒度分布や、鉱物的特徴の相違などが考えられる。

#### b) 理化学特性

表-3 に理化学特性の分析結果を示す。pH に関して、ケーキ B が特に高いのは、濁水中に吹付けコンクリートのリバウンドに由来するセメント粒子が混入したことが原因である。有機炭素、全炭素、全窒素の値からは、脱水ケーキの有機物含有量が極めて低いことが判る。また、土壤保肥性の指標である CEC の値も 8.2~11.9 cmol(+)/kg と、砂質砂丘土とほぼ同等の値<sup>13)</sup>を示した。リン酸吸収係数の発現(10.3~13.1 g/kg)は、凝集剤由来のアルミニウムに起因すると考えられる。工事濁水の処理と同様に、アルミニウム系の凝集剤を使用する浄水汚泥のリン酸吸収係数が、25 g/kg 程度の高い値を示す<sup>14)</sup>のに比べると、約 1/2 の低い値を示した。また、この値は、リン酸固定能が高いとされている火山灰性土壌のリン酸吸収係数が、一般に 15 g/kg 以上<sup>15)</sup>とされているのと比較しても低い値であった。交換性陽イオン類が非常に低い値であるのは、ケーキを構成する土粒子構成の単調性のためと考えられる。このように、工事濁水由来の脱水ケーキは、極めて有機物含有量の低い、無機粒子の集合体であることが判った。

#### c) 重金属類

重金属類は、すべての項目において土壤環境基準を満足するものであった。ケーキ A とケーキ B において、ひ素がそれぞれ 0.003 と 0.001 mg/L 検出されただけで、他の項目はすべて不検出であった。

脱水ケーキを植生土壌として地盤環境に還元利用する場合、重金属類などの有害物質が検出されないことは重要である。

### 3. 有機資材混合による植生土壌化実験

#### (1) 実験目的

発生源の異なる 3 種の脱水ケーキの物性分析より、その物理特性と理化学特性が著しく異なることが判った。この結果を踏まえて、粒度分布や液性限界などの土質的物性の異なる 3 種の脱水ケーキを原料とし、それぞれの初期含水比を変化させて有機資材の混合による物性改善実験を行なった。ここで、初期含水比を変化させたのは、脱水工程における機械脱水の圧力差によって、脱水ケーキ発生時の含水比が

表-4 実験条件

初期含水比 の設定	ケーキ A	20, 25, 30, 35 %
	ケーキ B	25, 30, 35, 40 %
	ケーキ C	30, 40, 50 %
有機資材の配合比	脱水ケーキ:バーク堆肥:発酵鶏糞堆肥 = 100:10:10 (容積比)	
養生期間	28 日間	
攪拌・混合回数	1 回/日	
使用した有機資材	岩手県住田町 JA スミバーク 岩手県住田町 JA スミ鶏糞	

変動するためである。本実験においては、特に脱水ケーキの初期物性の違いが、脱水ケーキと有機資材の混合物(以降、混合土と称する)の物性変化にどのような影響を与えるかを検討し、良好な物性の混合土を得るために脱水ケーキの具備すべき初期物性を定量的に把握することを目的とした。

#### (2) 実験方法

##### a) 実験方法の概略

混合土の養生槽として、内径 155 mm、高さ 500 mm、容量約 9.5 L の塩ビパイプを使用した。パイプの中央には、混合土の間隙ガス採取用に、先端に細孔を有する 8 mm 径のアルミニウム製採気管を設置した。脱水ケーキに混合する有機資材は、腐熟の進んだ良質のバーク堆肥と発酵鶏糞堆肥を用いた。有機資材の混合量は、脱水ケーキ:バーク堆肥:発酵鶏糞堆肥=100:10:10(容積比)とした。所定の初期含水比に調整した脱水ケーキ 7 L に、ケーキ容量の 10 %に相当するバーク堆肥 0.7 L、および鶏糞堆肥 0.7 L を加え、ミキサー(230 rpm)により 5 分間、均一になるように混合した。この混合土を養生槽内に充填し、養生を開始した。養生期間は 28 日間とし、1 日 1 回、混合土を養生槽から大型バットに取り出し、全体が空気に触れるよう混合した。このとき、混合土試料の一部を分取し、pH 等の分析に供した。ただし、温度と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)発生量の測定は、混合土を大型バットに取り出す前に行なった。養生は 19 °C の恒温室内で行なった。

##### b) 実験条件

初期含水比の設定は、各ケーキの発生時の含水比を中心に 3 から 4 水準に設定した。ケーキ C については、発生時の含水比が約 50 %と高かったので、低めの値に設定した。表-4 に実験条件を示す。

##### c) 分析方法

養生中の混合物の物性変化を把握するため、次の

計測を行なった。混合物の温度は熱電対温度計、含水比と pH は土質試験法<sup>9)</sup>に拠った。酸化還元電位 (ORP) は pH 測定に供した試料懸濁液について白金電極法<sup>10)</sup>により測定した。混合土の間隙ガス中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度は検知管法に拠った。これらの項目の計測は 1 日 1 回実施した。また、養生期間中に有機物の嫌気分解を生じなかったと考えられた試験区については、耐水性団粒試験と最大容水量の分析を行なった。耐水性団粒試験は Yoder 型<sup>10)</sup>の水中篩い分け試験機を用い、最大容水量試験は Hilgard 法<sup>10)</sup>に拠った。これらの試験は 1 週間に 1 度実施した。理化学性項目の分析は、脱水ケーキの理化学性分析と同様の手法に従った。

### (3) 結果および考察

#### a) 混合土の外観

混合土の外観は、初期含水比の大小によって著しく異なった。初期含水比が相対的に低い試験区では、混合土の粒径が数 mm 程度の粒状構造、あるいは、さらに粒径の大きな数 cm 径の粒塊構造を呈した。一方、初期含水比の高い試験区は、外観が、軟らかい油粘土状あるいは泥濘状態を呈した。このような泥濘状態を呈する含水比は、ケーキ A を原料とした試験区では初期含水比が 30 % 以上、ケーキ B を原料とした試験区では 35 % 以上であった。ケーキ C を原料とした試験区では上限の初期含水比が 50 % と最も高いにもかかわらず泥濘状になることはなかった。このように泥濘状態を呈した試験区では、養生開始数日後から悪臭を発するようになり、約 2 週間経過後には内部が灰黒色化した。有機物が嫌気分解し硫化水素などの生成に至ったものと考えられる。

混合土が泥濘状態を呈し、有機物の嫌気分解を生じるに至った試験区の含水比は、表-2 に示したケーキ A およびケーキ B の液性限界値と一致している。混合土の初期含水比が液性限界値以上であると、混合土は流動化しやすく、大きなひとつの泥土塊状を呈するため、内部に空気が通らず急速に嫌气的条件となったものと考えられる。

#### b) 温度

混合物の温度は、全ての試験区において養生期間中に特に変化は示さず、室温である 19℃ とほぼ同じ一定値を保った。

#### c) 含水比

混合土の含水比は、有機資材自体の水分が加わるにより初めは数%上昇する。その後は、水分を補給しないため、混合土の含水比は漸減傾向を示した。養生期間中に有機物の嫌気分解を生じなかった試験区について、混合物の含水比を養生期間中の平

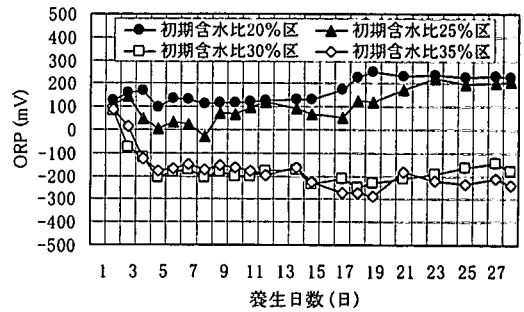


図-1 脱水ケーキ A を原料とした試験区の養生期間中における ORP の変化

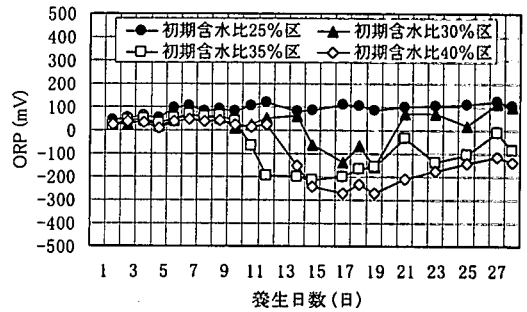


図-2 脱水ケーキ B を原料とした試験区の養生期間中における ORP の変化

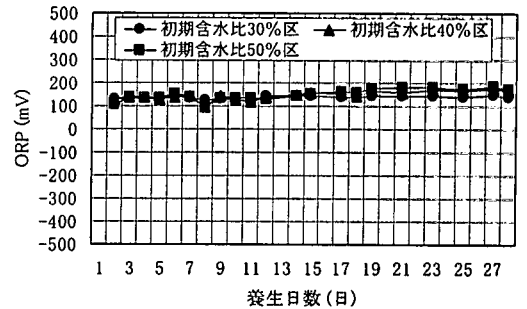


図-3 脱水ケーキ C を原料とした試験区の養生期間中における ORP の変化

均値で示すと次のとおりである。ケーキ A を原料とした初期含水比 20 % 区では含水比 21.3 %、25 % 区では含水比 25.6 %。ケーキ B を原料とした初期含水比 25 % 区では含水比 26.1 %、30 % 区では含水比 30.0 %。ケーキ C を原料とした初期含水比 30 % 区では含水比 31.2 %、40 % 区では含水比 35.9 %、50 % 区では含水比 44.0 % であった。

#### d) 酸化還元電位 (ORP)

図-1 から図-3 に 3 種のケーキを原料とした各試験区の ORP の経日変化を示す。各試験区において、初期含水比が液性限界以上で混合土が泥濘状態を呈した試験区では、いずれも ORP が急速に低下している

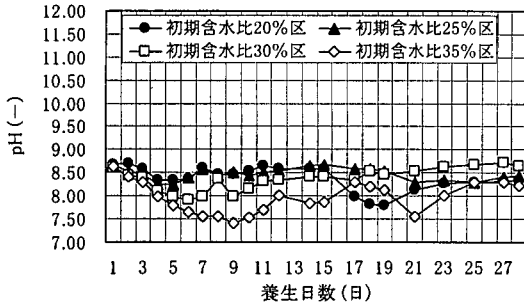


図-4 脱水ケーキ A を原料とした試験区の養生期間中における pH の変化

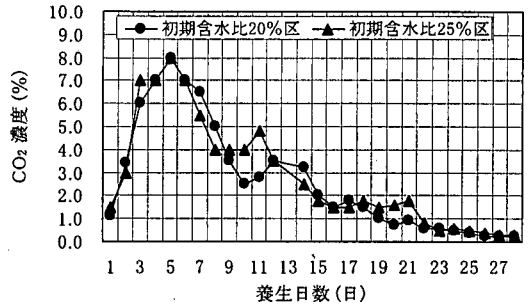


図-7 脱水ケーキ A を原料とした試験区の養生期間中における CO<sub>2</sub> 発生量の変化

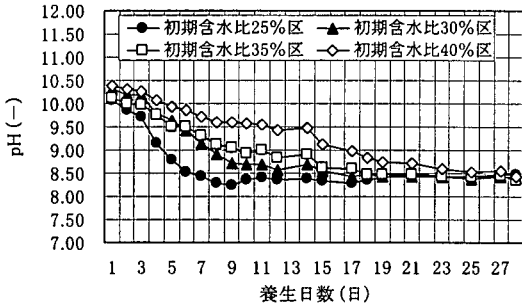


図-5 脱水ケーキ B を原料とした試験区の養生期間中における pH の変化

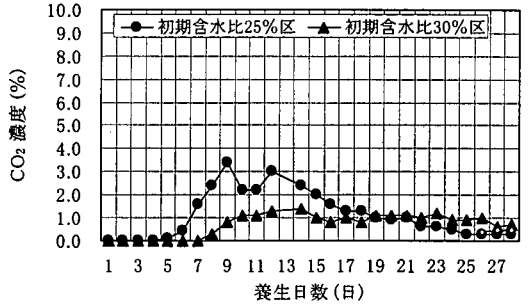


図-8 脱水ケーキ B を原料とした試験区の養生期間中における CO<sub>2</sub> 発生量の変化

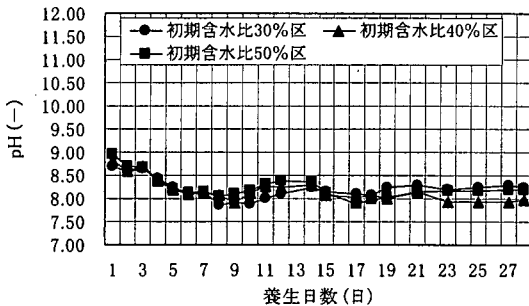


図-6 脱水ケーキ C を原料とした試験区の養生期間中における pH の変化

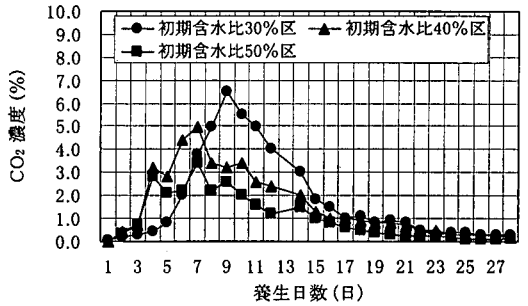


図-9 脱水ケーキ C を原料とした試験区の養生期間中における CO<sub>2</sub> 発生量の変化

のが判る。有機物の分解によって硫酸還元反応が起こり、硫化水素が生成されるとき ORP は -180 mV 程度といわれている<sup>16)</sup>。本実験においても、ORP が -180 mV 程度に達した時期と、悪臭発生、および混合土の黒色化など硫化水素の生成が示唆された時期と一致していた。脱水ケーキの発生時の含水比が液性限界以上であると、混合土は泥濘状を呈し、混合した有機資材が嫌気分解を引き起こしやすくなることが ORP から判る。一方で、初期含水比が液性限界より低い試験区では、混合土は粒状構造・粒塊構造を呈し、ORP はプラスの値を維持し好気的な条件が維持されていたことが示された。

e) pH

図-4 から図-6 に各試験区の pH の経日変化を示す。特にケーキ B を原料とした試験区において、大きな変化がみられた。ケーキ B は初期 pH が 11 以上と非常に高い値を示すが、養生開始直後から低下した。この pH 低下をもたらす原因は、1 日 1 回の攪拌・混合によって、空気中の CO<sub>2</sub> と触れることと、次項で述べるように有機物分解に伴う CO<sub>2</sub> の発生による中和作用の相乗効果と考えられる。pH の低下速度は、初期含水比が低く混合土の粒径が細かい試験区の方が速い。これは粒径が小さいことによって表面積が大きくなり、空気中、あるいは発生した CO<sub>2</sub> との接

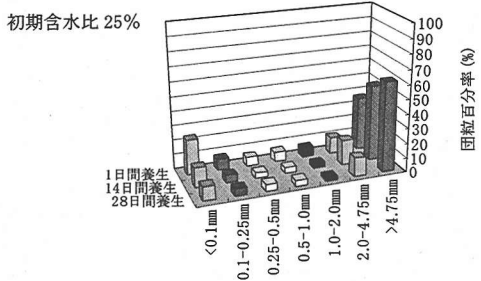
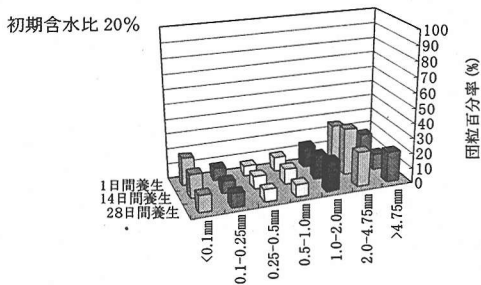


図-10 脱水ケーキAを原料とした試験区の団粒百分率

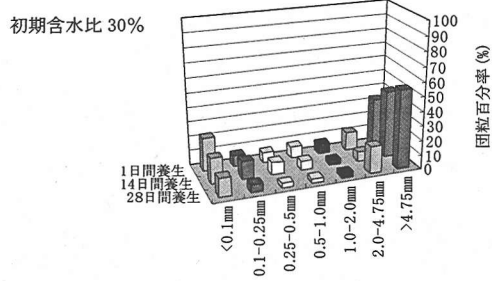
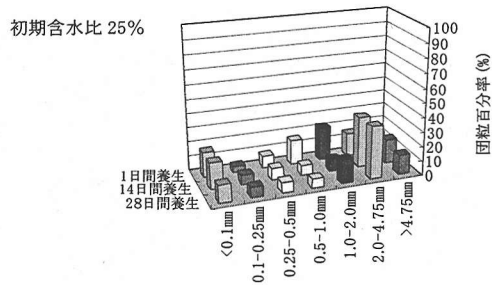


図-11 脱水ケーキBを原料とした試験区の団粒百分率

触面積が大きくなることによると考えられる。

#### f) 混合土間隙ガス中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)

図-7 から図-9 に各試験区における混合土間隙ガス中の CO<sub>2</sub> 濃度の経日変化を示す。CO<sub>2</sub> 濃度の測定結果は、嫌気化の生じなかった試験区のみについて示した。ケーキAを原料とした試験区では、養生開始直後から盛んに CO<sub>2</sub> が検出されるようになった。発生ピーク時の濃度は 8.0 % に達した。CO<sub>2</sub> 濃度 1 % を下回るまでを、CO<sub>2</sub> 発生の盛んな期間とすると、ケーキA原料区では約 20 日間であった。ケーキBを原料とした試験区では、養生 5~7 日目から CO<sub>2</sub> の発生が盛んになり、発生ピーク時の濃度は 3.5 %、発生の盛んな期間は約 15 日間であった。さらに、ケーキCを原料とした試験区では、養生開始後、約 3 日目より CO<sub>2</sub> の発生が盛んになり、発生ピーク時の濃度は 6.5 % に達した。CO<sub>2</sub> 発生の盛んな期間は約 15 日間であった。各試験区で CO<sub>2</sub> 発生量に差が生じたことの原因は明らかでない。

このように、原料としたケーキの種類により CO<sub>2</sub> の発生開始時期に違いが認められた。この各試験区における CO<sub>2</sub> の発生時期を、図-4 から図-6 に示した pH の変化と対比すると、ケーキB原料区では、CO<sub>2</sub> の発生開始時期と混合土が pH 9 を下回った時期と一致しており、ケーキC原料区では CO<sub>2</sub> の発生開始時期と、混合土が pH 8.7 程度を下回った時期と一致していたことが判る。

一般に土壤微生物の活動が盛んになる土壤 pH は

pH 9 程度を上限とする中性域といわれており<sup>17)</sup>、ケーキBおよびケーキC原料区において CO<sub>2</sub> が活発に検出され始めたときの混合土 pH とほぼ一致する。ケーキA原料区では、混合土の初期 pH が 9 以下の pH 8.5 から 8.7 程度であったため、養生開始とともに微生物活動が盛んになったと考えられる。また、養生期間中にケーキC原料区において、白色の菌糸が広がるコロニーが多数発生したことが目視確認された。このような状況から CO<sub>2</sub> を発生させる要因は、土壤微生物の活動による有機物の分解によるものと考えられる。このような土壤微生物の活動は、ケーキの物性改善に非常に役立つものである<sup>18)</sup>。土壤微生物の菌糸類あるいは代謝産物は、土壤粒子の団粒化促進において、腐植物質等よりも寄与率が高いともいわれており<sup>19)</sup>、脱水ケーキの物性改善においても、土壤微生物の生息環境を整えることが重要であると考えられることができる。

#### g) 耐水性団粒

耐水性団粒は、土壤粒子が結合して集合体となった団粒のうち、特に水中にあっても壊れることなく、強く結合しているものとされている。つまり、耐水性団粒の発達した土壤は、風蝕や水蝕に対する抵抗性が大きい土壤といえる<sup>20)</sup>。一方、脱水ケーキ自体は水と接触すると、容易にもとの泥水の状態に戻ってしまいやすい(以降、この現象を再泥化と称する)。脱水ケーキの植生土壤化を図るうえで、耐水性団粒の形成は、再泥化を防止するという意味で非

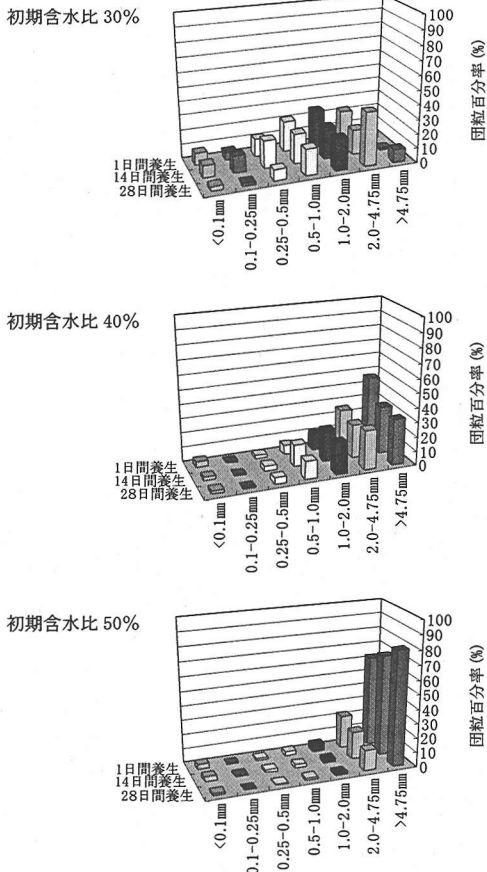


図-12 脱水ケーキCを原料とした試験区の団粒百分率

常に重要である。

脱水ケーキの粒度試験の結果から、各ケーキの最大粒径は、ケーキA、ケーキB、およびケーキCで、それぞれ2.0mm、0.425mm、0.425mmであった。脱水ケーキが水に触れた場合に、このような粒子群が容易に再泥化し、河川等へ流亡する恐れが生じてくる。そこで、脱水ケーキを構成する粒子群のうち、どの程度の割合の粒子が、再泥化に対する抵抗性を有したかについて以下に検討した。

図-10 から図-12 に有機物の嫌気分解を生じなかった試験区の耐水性団粒試験の結果を示す。各図には養生期間1日目、14日目、および28日目における団粒百分率を同時に示した。

全ての試験区において、原料とした脱水ケーキの最大粒径より大きい粒子群が発達していることが認められた。つまり、水との接触においても崩壊しない安定した粒子群が形成されたといえる。これを数値的に評価するために、土壌学の分野で使用される

表-5 0.25mmを基準径とした団粒化度の比較

混合土の種類		団粒化度(%)
ケーキA 原料区	20%区	77.4
	25%区	83.6
ケーキB 原料区	25%区	80.5
	30%区	81.9
ケーキC 原料区	30%区	94.9
	40%区	96.7
	50%区	98.4

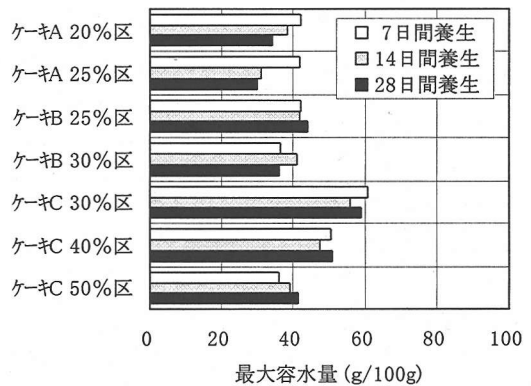


図-13 養生期間中における最大容水量の変化

団粒化度<sup>21),22)</sup>を計算した。団粒化度の計算にあたっての基準粒径は、微細団粒と粗大団粒の境界とされている0.25mm<sup>23)</sup>とした。結果を表-5に示す。

ケーキA原料区では、脱水ケーキを構成していた0.25mm以下の粒子群の77.4~83.6%が、より粒径の大きい、水との接触においても崩壊しにくい安定した粒子群になったといえる。同様にケーキB原料区では80.5~81.9%が、ケーキC原料区では94.9~98.4%が水に対する安定性を有するようになった。

各粒径画分の団粒百分率の変化を、養生期間の長短で比較してみると、明確な傾向は捉えられないものの、粒径0.1mm以下の細粒分の割合は、養生期間が長くなるほど漸減傾向を示し、逆に、粒径2mm以上の画分の割合は漸増傾向を示しているように見受けられる。また、養生初期の段階から粗大団粒に相当する画分が現れていることから、有機資材を混合した直後より、混合土は水に対する安定性を有するようになっておりと推定された。

表-6 各種脱水ケーキを原料とした混合土の理化学特性

項目	混合土の種類						
	ケーキA 原料区		ケーキB 原料区		ケーキC 原料区		
	20%区	25%区	25%区	30%区	40%区	50%区	
pH	8.34	8.43	8.47	8.40	7.98	8.19	
強熱減量 (%)	5.6	5.6	12.3	12.0	9.7	10.3	
腐植 (g/kg)	24.0	29.0	29.0	32.0	38.0	42.0	
有機炭素 (g/kg)	14.0	16.5	16.9	18.4	22.3	24.5	
全窒素 (g/kg)	1.3	1.9	2.0	2.2	2.9	3.6	
C/N 比	10.3	8.7	8.5	8.4	7.7	6.8	
CEC (cmol(+)/kg)	5.8	6.3	7.3	7.3	15.9	16.4	
リン酸吸収係数 (g/kg)	6.2	5.7	5.6	6.3	14.0	13.9	
交換性陽イオン	K (cmol(+)/kg)	2.74	2.68	3.39	3.62	3.21	3.69
	Ca (cmol(+)/kg)	16.8	16.4	29.3	29.4	22.6	27.4
	Mg (cmol(+)/kg)	2.21	2.28	2.05	1.70	2.50	2.98
	Na (cmol(+)/kg)	0.65	0.69	1.85	1.80	2.06	2.28
	Mn (mg/kg)	2.78	3.98	1.18	2.53	1.84	1.68
	陽イオン飽和度 (%)	386	350	501	468	191	222

## h) 最大容水量

最大容水量は、土壌の保水性を示す指標のひとつである。図-13 に養生期間中の最大容水量の変化を示す。団粒試験の結果と同様に、各試験区において、養生期間の長短による物性値の顕著な差、あるいは特徴的な変化を示す傾向は認められなかった。

各試験区において、養生期間中の最大容水量を平均値で示すと、ケーキA 原料区では 20 %区で 37.1 g/100g, 25 %区で 31.0 g/100g. ケーキB 原料区では 25 %区で 44.3 g/100g, 30 %区で 39.6 g/100g. ケーキC 原料区では 30 %区で 58.8 g/100g, 40 %区で 50.1 g/100g, 50 %区で 40.7 g/100g を示した。初期含水比の低い試験区の方が、相対的に最大容水量が高い値を示すようである。

## i) 理化学特性

表-6 には各混合土の理化学特性を示した。混合土の pH は、原料とする脱水ケーキの初期 pH がケーキB のように非常に高い pH を示す場合もあるが、有機資材を混合して一定の養生期間を設けることで、図-5 に示したように中性から弱アルカリ性を呈するまでに中和された。強熱減量、有機炭素、全窒素等の項目で表される有機物含有量も脱水ケーキに比べて増加している。リン酸吸収係数は、ケーキA とケーキB を原料とした混合土では、原料ケーキの値(表-3)に対して約 1/2 の値にまで低下した。アルミニウム系凝集剤を主体とした現行の水処理システムから発生する脱水ケーキを、植生土壌として再利用

する際に、アルミニウムによるリン酸固定の問題が生じることが避けられない。しかし、パーク堆肥と発酵鶏糞堆肥等の有機資材の混合によって、原料とする脱水ケーキのリン酸吸収係数の値を著しく低減できることが判った。これは凝集剤由来のアルミニウムによるリン酸固定能を緩和させることができることを示しており、植物のリン酸吸収を阻害しないという点で極めて重要である。このように、混合土のリン酸吸収係数が脱水ケーキより小さくなり、CEC や陽イオン飽和度が大きくなることは、植生土壌としての利用面から有効であるといえる。

改善された項目が多いなかで、原料とした脱水ケーキの物性に対して物性改善効果が認められない項目も存在した。例えば、ケーキA とケーキB を原料とした混合土の CEC は、原料とした脱水ケーキの値(表-3)よりも低下している。山本ら<sup>24)</sup>は、黒ボク土や砂丘未熟土など、5 種の異なる土壌 12 試料に対して、豚糞、下水汚泥、および都市ゴミを原料としたコンポストを施用したときの土壌理化学性の比較を行なっている。そのなかで、養分状態の極めて劣る粗粒質の砂丘未熟土の CEC は、各種コンポストの施用直後よりも、6 ヶ月の養生期間後の方が低下していたことを報告している。自然界に存在する砂丘未熟土と、脱水ケーキとを一概に比較はできないが、両者とも有機物含有量の極めて少ない無機粒子を主体としている点で類似性が見出せる。

また、ケーキC を原料とした混合土のリン酸吸収



係数は、脱水ケーキより高い値を示した。また、各混合土の陽イオン飽和度は全て数百%を示し、過度な飽和状態を示している。このような現象を引き起こす詳細なメカニズムは不明であるが、基本的には脱水ケーキを構成する濁質粒子群と有機資材中の各種の有機物との相互関係であろうと推察される。

脱水ケーキの発生由来は工事濁水であり、濁質は主に岩盤を掘削し粉砕した際に発生する微細粒子である。そのため、濁質を構成する粒子が鉱物学的に単調なものとなり、ある特徴的な性質を有している場合があることが十分に考えられる。このような粒子群と有機資材中の各種有機物質との相互作用がどのようなものか、どのような機構によって各種の理化学特性の発現に至っているかは、今後の検討課題としたい。

さらに、改良した植生土壌と緑化に用いられる各種の植物種との適合性についても、今後、検討を進めることとしたい。

#### 4. 結論

本実験によって得られた知見を以下にまとめる。

- (1) ダム建設工事由来の濁水を原水とし、同一の水処理方式から発生する脱水ケーキであっても、発生源が異なると、物理特性と理化学特性が大きく異なることが明らかになった。
- (2) このように物性が大きく異なる脱水ケーキに、バーク堆肥と鶏糞堆肥を主体とする有機資材の混合によって植生土壌化を図る際の、脱水ケーキの具備すべき初期条件が明らかになった。すなわち、以下に示すとおりである。
  - (2-1) 混合する有機資材の嫌気分解を防ぐためには、脱水ケーキの初期含水比を、ケーキ自体の液性限界以下とすること。液性限界以上の場合、混合土は泥濘状を呈するようになり、混合土内部の酸化還元電位が急速に低下し、有機物の嫌気分解を招くことになる。
  - (2-2) 脱水ケーキの pH は9以下であること。脱水ケーキの物性改善(団粒化促進)に大きく寄与する土壌微生物の生息至適 pH に維持するためである。
  - (2-3) 混合土の粗大団粒の画分が養生初期の段階から現れていることや、最大容水量の値が養生初期と終了時でほぼ同じであることから、有機資材を混合した直後から、物性の改善が始まっていることが判った。
  - (2-4) 脱水ケーキの初期含水比は、より低い方が混合土の物性改善には望ましい。土壌微生物の活発な

活動がうかがわれ、最大容水量も大きい値を示したためである。

#### 参考文献

- 1) 西尾道徳、藤原俊六郎、菅家文左衛門：有機物をどう使いこなすか、農山漁村文化協会、pp. 95-98, 1988.
- 2) M.M.コノノワ：土壌有機物、菅野一郎、久馬一剛、徳留昭一、有村玄洋訳、農山漁村文化協会、pp. 122-128, 1976.
- 3) 鎌田照章、市山健二：技術開発でコスト縮減〈宇奈月ダム〉、ダム技術、No.150, pp. 44-47, 1999.
- 4) 丸山俊朗、宮根正樹、平石博忠：水ガラスを含むカオリン懸濁液の硫酸アルミニウムによる凝集処理特性、水質汚濁研究、Vol.11, No.6, pp. 381-389, 1988.
- 5) 丸山俊朗、宮根正樹、山田僚一、陸島史夫：懸濁液型水ガラス系注入剤を含有するトンネル工事排水の石灰処理法について、水質汚濁研究、Vol.13, No.3, pp. 163-172, 1990.
- 6) 山田僚一、宮根正樹、丸山俊朗：懸濁液型水ガラス系注入剤を含むトンネル工事排水の石灰と硫酸アルミニウムの同時添加法による処理、水環境学会誌、Vol.15, No.4, pp. 235-243, 1992.
- 7) 田窪祐子、小口深志：建設工事で発生する脱水ケーキの緑化用土壌への利用に関する研究、第32回地盤工学研究発表会、pp101-102, 1997.
- 8) 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会：土質試験の方法と解説(第1回改定版)、地盤工学会、2000.
- 9) 日本土壌肥料学会監修：土壌標準分析・測定法、博友社、1961.
- 10) 日本土壌肥料学会監修：土壌環境分析法、博友社、1997.
- 11) 環境庁：土壌の汚染に係る環境基準について、平成3年8月23日環境庁告示第46号、1991.
- 12) 環境庁：産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法、昭和48年2月17日環境庁告示第13号、1973.
- 13) 藤原俊六郎、安西徹郎、加藤哲郎：土壌診断の方法と活用、農山漁村文化協会、pp. 104-106, 1996.
- 14) 麻生昇平、麻生末雄：わが国における浄水処理ケーキの種類と理化学性、日本土壌肥料学雑誌、Vol.61, No.6, pp. 661-667, 1990.
- 15) 久馬一剛、庄子貞雄、鎌塚昭三、服部 勉、和田光史、加藤芳朗、和田秀徳、大羽 裕、岡島秀夫、高井康雄：新土壌学、朝倉書店、pp. 84-85, 1984.
- 16) 森 忠洋、野中資博：コンクリート微生物腐食の診断法、用水と廃水、Vol.33, No.12, pp. 1013-1023, 1999.
- 17) 渡辺 巖：農業と土壌微生物、農山漁村文化協会、pp. 69-70, 1971.

- 18) 坂本一憲, 大塚麻子, 吉田富男: 土壌の団粒粒径分布におよぼす土壌微生物相の影響, 日本土壌肥科学雑誌, Vol.67, No.3, pp. 310-313, 1996.
- 19) 西尾道徳: 土壌微生物とどうつきあうか, 農山漁村文化協会, pp. 129-131, 1988.
- 20) 藤原俊六郎, 安西徹郎, 小川吉雄, 加藤哲郎: 新版土壌肥料用語事典, 農山漁村文化協会, p. 54, 1998.
- 21) 土壌物理性測定法委員会編: 土壌物理性測定法, 養賢堂, p. 63, 1972.
- 22) 土の試験実習書(第2回改訂版)編集委員会: 土の試験実習書(第2回改訂版), 土質工学会, pp. 40-41, 1991.
- 23) Tisdall, J.M. and Oades, J.M.: Organic matter and water-stable aggregates in soils, *Journal of Soil Science*, Vol.33, pp. 141-163, 1982.
- 24) 山本一彦, 隅田裕明, 松坂泰明, 矢崎仁也: 各種コンポストの施用が土壌化学性におよぼす影響, 日本土壌肥科学雑誌, Vol.56, No.2, pp. 115-122, 1985.

(2001. 3. 19 受付)

## RECYCLING OF DEWATERED CAKE GENERATED FROM MUDDY WATER TREATMENT PROCESS TO VEGETATIVE SOIL BASE

Ryoichi YAMADA, Yoshio SUTO and Toshiro MARUYAMA

A dewatered cake generated from a muddy water treatment process in a construction work is capable of reuse as a vegetative soil base by mixing with organic materials such as fully fermented composts to improve properties of soil to grow plants. The properties of dewatered cakes are much dependent on their generating sources. In order to establish a method for using dewatered cakes to make a vegetative soil base by mixing with organic materials, some initial conditions of such dewatered cakes whose initial properties are different have been investigated. It has been defined that water content of dewatered cakes should be lower than the liquid limit to prevent anaerobic degradation of organic materials, pH should be maintained at lower than 9 to accelerate activity of soil microorganisms. In addition, lower initial water content provides the better property of the amended soil.