

ケーキ・リソイルシステムの開発 ー建設汚泥脱水ケーキの植生用土壌化技術の開発ー

田 窪 祐 子 林 原 茂
小 口 深 志

要 旨

建設省では「建設リサイクル推進計画'97」に基づき、建設汚泥のリサイクル率の目標値を35%から60%に引き上げる方針を打ち出しており、建設汚泥の有効利用の気運はますます高まっている。しかし、建設汚泥の再利用は減量化を含めても14%と遅れているのが現状である。

建設汚泥の再利用は①建設用資材②緑化用資材の二通りが考えられる。このうち建設用資材への利用方法は種々の技術が普及され始めているが、緑化用資材への利用技術はほとんど確立されておらず、改質技術が開発されることが望まれている。

そこで、建設汚泥ケーキを植生に適した土壌に改良するための方法として、①高分子系土壌改質材添加による改質、②加熱乾燥による改質、③低温焼成による改質の3種類の方法について検討を行った。

その結果、高分子系改質、加熱乾燥改質、低温焼成改質のいずれの改質方法においても、建設汚泥ケーキは植生用土壌として改良できることを確認した。

キーワード 建設汚泥ケーキ／植生用土壌／高分子系土壌改質材／加熱乾燥／低温焼成

目 次

- | | |
|-----------------------|---------|
| 1. はじめに | 4. 植生試験 |
| 2. ケーキ改質方法 | 5. おわりに |
| 3. ケーキ原土及び改質
土の諸特性 | |

DEVELOPMENT OF THE CAKE・RESOIL SYSTEM ーDEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE ON UTILIZING THE DEHYDRATED SLUDGE ON CONSTRUCTION FOR THE VEGETATIVE SOILー

Yuko TAKUBO
Fukashi OGUCHI

Shigeru HAYASHIBARA

Synopsis:

The Ministry of Construction came out with a Courses whereby the utilization rate of the hydrated sludge. It is the present situation that recycle of the hydrated sludge on construction is delayed.

It is specially expected of development of a use to the soil for the vegetation. Three improvement methods were devised.

- ① Improvement with the macromolecule type material
- ② Improvement by dryness
- ③ Improvement by burning in the low temperature

Physical property test and vegetation test of the improvement soil and hydratered sludge were done. As a result, it became clear to be able ti use the improvement soil as soil for vegetation

1. はじめに

建設省では「建設リサイクル推進計画'97」に基づき、建設汚泥のリサイクル率の目標値を35%から平成12年度には60%に引き上げる方針を打ち出しており、建設汚泥の有効利用の気運はますます高まっている。しかし、建設汚泥の再利用は減量化を含めても平成7年度現在で14%と遅れているのが現状である。

建設汚泥の再利用方法は①建設用資材②緑化用資材の二通りが考えられる。このうち建設用資材へ利用する場合は、強度を高めるためにセメントや石灰による固化処理を行い盛土材や埋め戻し材に利用する方法が主流であり、種々の技術が確立されている。それに対し、緑化用資材に利用する場合は、セメントや石灰を使用すると、土が強アルカリ性の固結土となるため植生用土壌への利用は難しい。また、建設汚泥を植生用土壌として改質・利用するには、団粒性、保水性、透水性といった物理性の改質技術が必要であり、これらの改質技術はほとんど確立されておらず、早期の開発が望まれている。

以上の背景をもとに、建設汚泥ケーキを植生に適した土壌に改質する方法を確立することを目的として検討を行ったのでその結果を報告する。

2. 建設汚泥ケーキ改質方法

建設汚泥ケーキを植生に適した土壌に改質するための方法として、次の3種類の方法について検討を行った。

- ① 高分子系団粒化材添加による改質
- ② 加熱乾燥による改質
- ③ 低温焼成による改質

それぞれの改質内容について以下に示す。

2.1 高分子系団粒化材添加による改質

植物が生育するのに必要な物理的特性として、団粒性がある。団粒化した土壌は三相分布のバランスがよく、植物が生育するのに必要な水分、空気を含有しやすい特徴がある。しかし、建設汚泥ケーキはシルト分が多く、間隙がほとんどない状態であり、植生生育は難しいと考えられる。そこで、高分子系団粒化材を添加することで



写真1 高分子系改質状況

建設汚泥ケーキの団粒性を改質することとした。高分子系改質材は、前報¹⁾で使用したアクリルアミド系のものよりさらに安全性が高いと考えられるポリビニルアルコール系の団粒化材（ポパール）を使用することとした。なお、ポパールは土壌改良材として政令指定されている。

改質方法について以下に述べる。建設汚泥ケーキに団粒化材（ポパール）を添加して、手押し型耕耘機で攪拌を行った。改質状況を写真1に示す。

次に、理化学的改良として、緩効性肥料（ハイコントロール）を4kg/m³ずつ全ケースに添加した。試験ケース内容を表1に示す。

表1 高分子系改質ケース内容

No.	無機質資材	有機質資材	ポパール [※]
1	脱水ケーキ 100%	—	ポパール 0.1%/ケーキ量
2	脱水ケーキ 90%	バーク堆肥 10%	ポパール 0.1%/ケーキ量
3	脱水ケーキ 60%	現場発生土 40%	ポパール 0.1%/ケーキ量

※ポリビニルアルコール系高分子改質材

2.2 加熱乾燥改質

建設汚泥ケーキを乾燥キルンを用いて150℃で乾燥させた。乾燥キルンを写真2に示す。建設汚泥ケーキは造粒せずに直接キルンに投入した。建設汚泥ケーキを1回乾燥したものと、もう1度キルンに入れて乾燥させた2回乾燥のものと2種類を作成した。

乾燥改質されたケーキは見かけ上はシルト～礫状の様々な粒径のものが含まれているが、比較的簡単に指でつぶれた。この改質材については現地発生土と1:1の体積比で混合し、植生用土壌として供した。



写真2 乾燥キルン装置

2.3 低温焼成改質

建設汚泥ケーキをキルンにて焼成した。焼成温度は田窪ら²⁾により、600~800℃の間で建設汚泥ケーキの物性が変化することが確認されていることと、これ以上高温で焼成するとpHがアルカリ性となり植生に適しないものになってしまうことから焼成温度を650℃に設定した。本法においても、乾燥改質の場合と同様に、造粒せずにキルンへ投入した。

植生用土壌としては、低温焼成改質ケーキそのものと、現地発生土を体積比 1:1 で混合したものの 2 種類を供した。

粒度分布とは水中で 20 分間篩ったときの粒度分布であり、団粒化の指標である。団粒体が形成されることにより、土壌の間隙が保持され透水性が良好になったものと

3. ケーキ原土及び改質土の諸物性

3.1 土壌試験方法

改質した建設汚泥ケーキが、物理・理化学的にどのように改質されているのか、また植生用土壌として適する物性になっているのかを確認するために土壌分析を行った。試験は植生用土壌として改質したケーキのほかに、建設汚泥原土についても行った。試験項目を表 2 に示す。

分析は土壌物理測定法委員会編「土壌物理測定法」³⁾及び、土壌標準分析測定法委員会編「土壌標準分析・測定法」⁴⁾に従っておこなった。

3.2 土壌試験結果

土壌分析結果を表 3 に示す。

(1) 物理的特性

すべての改質ケーキで改良された項目は、透水性と耐水性粒度分布であった。すなわち、改質ケーキではケーキ原土に比較して透水係数が増加し、耐水性粒度において 2mm 以上の団粒性重量が増加している。なお、耐水性

表 2 分析項目一覧

分析項目		確認する性質
理化学的	pH (H ₂ O)	植生生理への影響
	腐植	肥料量
	全窒素	
	可給態リン酸	
	リン酸吸収係数	
	陽イオン交換容量 (CEC)	保肥力
	交換性陽イオン CaO MgO K ₂ O Na ₂ O	多量及び微量必須成分
物理的	飽和透水係数	透水性
	有効水分保持量	保水性
	最大容水量	保水性
	耐水性団粒分布	団粒性

表 3 土壌試験結果

分析項目	単位	建設汚泥 ケーキ原土	高分子系改質シリーズ				加熱乾燥シリーズ		低温焼成シリーズ		目標値*1
			高分子系 改質ケーキ	改質ケーキ +バーク	改質ケーキ +表土		1回乾燥 ケーキ +表土	2回乾燥 ケーキ +表土	650℃ 焼成 ケーキ	800℃ 焼成 ケーキ	
pH (H ₂ O)		7.6	7.5	7.6	7.4		7.0	7.0	8.9	12.1	4.5~8
腐植	%	0.51	0.57	4.44	1.93		2.59	2.29	0.14	0.15	—
全窒素	%	0.01	0.01	0.10	0.09		0.40	0.36	0.01>	0.01>	0.06以上
可給態リン酸	mg/100g	1.4	2.7	15.2	12.2		141.8	140.3	0.6	2.5	10以上
リン酸吸収係数	mg/100g	490	500	650	800		790	830	840	490	—
陽イオン交換容量	me/100g	5.9	6.8	9.9	10.2		15.0	14.6	4.3	1.5	6以上
交換性陽イオン	CaO	me/100g	38.23	37.37	36.79	32.90	25.70	26.60	18.20	14.5	2.5以上
	MgO	me/100g	1.57	1.76	2.40	1.52	2.00	2.70	4.00	1.9	—
	K ₂ O	me/100g	0.27	0.29	1.19	0.55	10.40	10.40	0.80	0.5	—
	NaO	me/100g	0.45	0.42	0.67	0.32	0.50	0.60	0.30	0.2	—
飽和透水係数	cm/sec	2.9×10^{-6}	1.8×10^{-4}	2.5×10^{-4}	3.6×10^{-4}	1.3×10^{-3}	9.6×10^{-4}	4.3×10^{-4}	7.4×10^{-4}	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	
有効水分保持量	L/m ³	38	29	26	16	17	38	183	235	80以上	
最大容水量	%	44.1	48.3	64.4	54.4	56.7	55.0	63.1	56.7	—	
耐水性団粒分布	2.0mm以上	%	0.1>	28.8	47.4	7.6	7.4	14.7	30.9	36.8	20~40
	2.0~1.0mm	%	0.1	2.9	2.6	6.6	8.5	12.7	5.3	11.2	30~80
	1.0~0.5mm	%	0.7	1.7	1.4	9.1	9.3	12.2	12.5	8.6	
	0.5~0.25mm	%	2.3	14.2	2.1	13.4	15.8	20.7	5.7	17	
	0.25~0.10mm	%	8.0	9.9	3.8	11.3	21.7	9.5	8.8	8.5	
	0.10mm以下	%	88.9	42.5	39.3	52	37.3	30.2	36.8	27.9	

*1=緑化事業における植栽基盤整備マニュアル (日本造園学会)

考えられる。

次に、保水性については低温焼成ケーキ以外ではそれほど大きな改良効果は見られなかった。これは高分子系改質と加熱乾燥改質ではケーキそのものの物性が変化しないことが原因と思われる。ケーキの特性や利用条件によっては吸水材等の添加が必要ではないかと考えられる。低温焼成ケーキは焼成により空隙が増えることから保水性の改良効果が見られたものと思われる。

土壌試験結果から物理性では、全ての改質土において植生用土壌として利用できる性質を備えているということがわかった。特に低温焼成ケーキでは保水性、透水性とも優れており、物理性が不良な土の土壌改良材として使用することも可能であると考えられた。

(2) 理化学的特性

脱水ケーキ原土および、すべての改質土に緩効性肥料（ハイコントロール）を $4\text{kg}/\text{m}^2$ ずつ添加したが、肥料が緩効性のため、分析値としてはカウントされなかった。しかし、乾燥改質に用いた緩効性肥料は違うメーカーの同等品を使用したため、分析値がカウントされている。この結果を見ると、全窒素、可給態リン酸、交換性カリウム (K_2O) 等肥料成分において、目標値に達していることがわかる。このことから、他のケーキ及び改質土では分析値に反映されていないが、肥料分は十分であると推定された。

以上より、カウントされていない分析結果を汚泥脱水ケーキに含まれている肥料分と捕らえると、理化学的には植生生育に適していないと思われる。つまり、植生用土壌として改質土を利用するときは必ず肥料を添加しなくてはならないということがわかった。

4. 植生試験

4.1 高分子系改質

(1) 試験方法

高分子系改質材（ポパール）を用いて改質したケーキにて植生試験を行った。試験ケースを表4に示す。供したケーキと改質土は土壌分析に用いたものと同じである。

ケースは全4ケースであり、ケース1は対照区として脱水ケーキ原土の区を設けた。いずれのケースにおいても理化学的改良として緩効性肥料を $4\text{kg}/\text{m}^2$ 添加した。

試験は綱木川ダム内で行い、1区 $5\text{m} \times 5\text{m}$ の大きさに設置した。また、土壌厚は高木を植栽できるように 50cm

とした。試験は平成11年11月より開始したため、翌年芽吹きを期待して、先駆樹種であり肥料木でもあるメドハギと外来牧草のクリーピングレッドフェスク(C.R.F.)を播種した。

続いて施工フローを図1に示す。耕耘機は手押しのものを使用した。

播種後は発芽状況を確認し、それぞれの区での緑被の程度を求めて評価することとした。

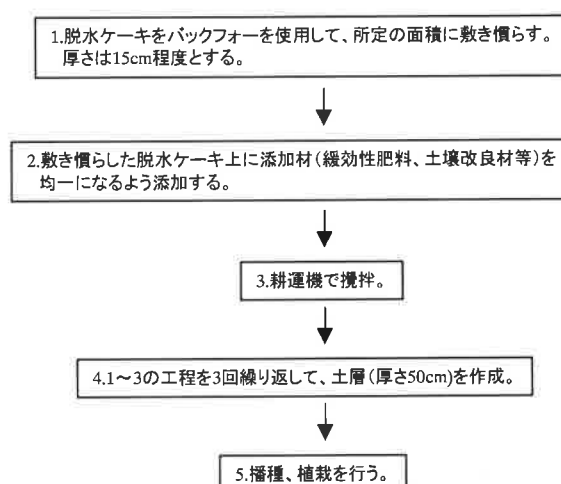


図1 施工フロー

(2) 結果

表5に植生状況の評価を示す。評価は相対評価とし、◎:大変よい、○:良い、△:普通、×:よくないと表示した。発芽は全体の程度から評価したが、生育状況は個々に成立している植生の成長量から評価した。まず発芽状況については、いずれのケースにおいてもある程度の発芽は確認された。

続いて、生育状況についてだが、パーク堆肥や、現地発生表土といった有機質を多量に含有するケースにおいて良好な生育が見られた。しかし、ケーキ原土、土壌改良材のみのケースでも発芽は認められているので、生育差が見られた原因は有機質に含まれている肥料成分量が影響していると考えられる。

高分子系土壌改質材の効果としては、ケーキ原土区は降雨などにより再泥化した後、乾燥によりひび割れが生じていた。その様子を写真3に示す。植生付近のケーキも固結しており、今後の生育に影響を与えるものと考えられた。その他の改質土区では、ひび割れなどは見られな

表5 植生状況評価

No.	内容	発芽状況	生育状況
1	ケーキ原土	△	×
2	改質土のみ	○	△
3	改質土+パーク堆肥	◎	◎
4	改質土+現地発生表土	◎	○

表4 植生試験ケース

No.	無機質資材	有機質資材	高分子系改質材 (ポパール)	種子
1	脱水ケーキ 100%	-	-	メドハギ・C.R.F.
2	脱水ケーキ 100%	-	0.1%/ケーキ量	メドハギ・C.R.F.
3	脱水ケーキ 90%	パーク堆肥 10%	0.1%/ケーキ量	メドハギ・C.R.F.
4	脱水ケーキ 60%	現場発生土 40%	0.1%/ケーキ量	メドハギ・C.R.F.

かったことから、高分子系改質材の効果が確認された。

よって、生育状況に差はあるが、ケーキ原土以外のケースにおいては発芽は良好であり、植生用土壌として十分適用することが出来ると思われる。



写真 3 ケーキ原土表層

4.2 加熱乾燥改質

(1) 試験方法

加熱乾燥改質を行ったケーキに対して植生試験を行った。試験ケースを表 6 に示す。

ケースは全 4 ケースとし、いずれのケースにも緩効性肥料を添加した。脱水ケーキ及び現地発生表土については高分子系改質と同じものを使用した。植生はヤマハギ、メドハギ、イタチハギなどハギ類のほか C.R.F.等の外来牧草を播種した。

表 6 試験内容

No.	無機質材料			現地発生 表土
	ケーキ原土	1回乾燥ケーキ	2回乾燥ケーキ	
1	100%	—	—	—
2	50%	—	—	50%
3	—	50%	—	50%
4	—	—	50%	50%

(2) 結果

生育状況の評価を表 7 に示す。評価は高分子系改質の場合と同様、◎、○、△、×で表した。

表 7 生育状況評価

No.	土壌配合	生育状況
1	ケーキ原土のみ	×
2	ケーキ+表土	△
3	1回乾燥+表土	○
4	2回乾燥+表土	◎

ケーキ原土は表面が再泥化し、その後の乾燥によりひび割れてをを起こしており、植生の生育はあまり見られな

かった。その様子を写真 4 に示す。それに対し、表土を混合したケースでは植生の生育が認められた。特に 2 回乾燥ケーキではヤマハギが旺盛に生育しており、植物による団粒化が促進していると考えられた。2 回乾燥ケーキの表面の様子を写真 5 に示す。

これらの結果より、加熱乾燥したケーキを表土に混合したものは植生用土壌として使用可能であることがわかった。



写真 4 ケーキ原土表面



写真 5 2 回乾燥ケーキ表面

4.3 低温焼成改質

(1) 試験内容

低温焼成改質した建設汚泥ケーキについて植生試験を行った。試験内容を表 8 に示す。

表 8 試験ケース

No.	低温焼成ケーキ	表土	種子
1	—	100	ハツカダイコン、 ホワイトクローバー、 メドハギ、ヤマハギ
2	100	—	
3	50	50	

土壌をφ15cm、深さ 15cm のポットに充填し、植生はハツカダイコン、ホワイトクローバー、メドハギ、ヤマハギをそれぞれ 1 ポットずつ播種した。発芽状況と発芽後の生育状況を観察した。

(2) 結果

植生試験の評価を表9に示す。評価は高分子系、乾燥改質の場合と同様に、◎、○、△、×で表した。

表9 植生試験評価

	ハツカ ダイコン	ホワイト クローバー	メドハギ	ヤマハギ
表土	◎	○	○	△
表土+ 低温焼成ケーキ	◎	○	○	△
低温焼成ケーキ	○	△	△	△

表土のみの場合と表土と低温焼成ケーキを混合した場合、良好な生育状態を確認することが出来た。特にハツカダイコンでは、最も良い生育状況であった。低温焼成ケーキそのものではさほど生育は良くなかった。これは植生試験に使用したケーキが粒径の細かいものが多く、空隙が少なかったためと考えられる。

植生試験の状況を写真6、7、8に示す。



写真6 表土植生状況



写真7 表土+低温焼成ケーキ植生状況



写真8 低温焼成ケーキ植生状況

写真右側よりハツカダイコン・ホワイトクローバー・メドハギ・ヤマハギ

5. おわりに

建設汚泥ケーキを植生用土壌として再利用するために、①高分子系改質、②加熱乾燥改質、③低温焼成改質の3方法について、土壌試験及び植生試験を行った。その結果、植生用土壌として利用するのに必要な条件である、団粒性、透水性などの物理特性においていずれの方法においても適用できるまでに改質されたことが確認された。それぞれの改質方法の特徴を以下にまとめる。

- ① 高分子系改質：コスト的には最も安価で、適応範囲が広く実用性が最も高い。また、良質土と混合することなくケーキ全量が植生用土壌として利用することが出来る。
- ② 加熱乾燥改質：現地発生表土等と混合することで、良質の植生用土壌となる。ただし、粒状の乾燥ケーキは多量の水分により吸水崩壊を起こす可能性があるため、降雨の多い時期に施工すると、ケーキが再泥化することで、植生が生育しにくい環境になることが考えられた。施工は植生の旺盛な生育が期待できる時期にのみ適応が可能である。
- ③ 低温焼成改質：焼成により組成が完全に変化しているため、再泥化することはない。さらに低温焼成材は透水性や、保水性において良好な性質を持っており、土壌改良材として利用できる。

これらの3方法を建設汚泥ケーキの植生用土壌化技術として、「ケーキ・リソイルシステム」とし、ニーズに合わせた改質方法を提供できるものとして確立することが出来た。

今後の予定としては、改質方法の中で最も安価で、かつ改質ケーキそのものが土壌として利用することが出来る高分子系改質方法による現地実証試験を行う予定である。

参考文献

- 1) 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，前田技術研究所報，pp.147-152，1998
- 2) 田窪祐子，小口深志：建設汚泥ケーキの低温焼成材の物性について，土木学会第53回年次学術講演会，pp.110-111，1998
- 3) 土壌物理測定法委員会編：土壌物理測定法，p505，養賢堂，1982
- 4) 土壌標準分析測定法委員会編：土壌標準分析測定法，p354，博友社，1986
- 5) 田窪祐子，小口深志：低温焼成した建設汚泥ケーキの植生用土壌への利用に関する研究，第35回地盤工学会研究発表会，pp.1101-1102，2000
- 6) 田窪祐子，小口深志，林原茂：加熱乾燥した建設汚泥ケーキの植生用土等への適用性について，土木学会第55回年次学術講演会，2000（投稿中）