

建設副産物を有効利用する 「バイオニュートラル工法」の開発

宝示戸恒夫¹・加瀬俊久¹・川口正人²・林亮³・山岡貴司¹・樋川直樹⁴・椎葉究⁵
・石田悦基⁶

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部技術第3部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館)

²正会員 清水建設株式会社 技術研究所インキュベーションセンター (〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目4番17号)

³清水建設株式会社 土木技術本部技術第3部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館)

⁴清水建設株式会社 胆沢ダム堤体盛立工事事務所 (〒023-0403 岩手県奥州市胆沢区若柳字愛宕488-1)

⁵農博 日清製粉株式会社 研究開発本部つくば研究所 (〒300-2611 茨城県つくば市大久保13番地)

⁶日清製粉株式会社 研究開発本部つくば研究所 (〒300-2611 茨城県つくば市大久保13番地)

ダム工事等から発生するセメント分を含んだ汚泥は、一般的に産業廃棄物として処分されている。この汚泥の処分に関しては、環境負荷の増大・高コスト化等の問題を抱えている。一方、盛立材料として有効利用を図るためには、土壌環境基準を満たしていることが求められている。これらのことから、ダム工事等で発生する建設汚泥を低コストで短期間に無害化し有効利用できる技術として、建設汚泥に発酵促進材（ニュートラルコンポ）を添加し嫌気発酵を促進することにより汚泥に含まれる六価クロムを低減し、pHを低下させて無害化し、埋戻し土等さらには植生基盤材等の有価物として利用可能とする「バイオニュートラル工法」を開発した。

キーワード： 産業廃棄物, 建設汚泥, アルカリ性, 六価クロム, 無害化, ダム

1. はじめに

近年、環境保全について従来に増して一層の配慮を求められているなか、建設事業を取巻く状況も非常に厳しくなっている。建設汚泥については従来より産業廃棄物として処理されている。しかし最近の産業廃棄物処理処分先の枯渇や、発生場所と処分先の運搬距離の関係などから、環境負荷の増大・高コスト化等の問題を抱えている。一方で昨今公共事業にコスト縮減が強く求められており、環境保全にかかわるコストについては従来に増して大きな課題となっている。

近年、ダム工事等から発生するセメント分を含んだ汚泥は、一般的に産業廃棄物として管理型処分施設へ運搬して処分されているケースが多くある。また、場合によってはセメントに起因して六価クロムを含んでいることがあり、この場合は六価クロムの溶出量に応じた処分を実施する必要がある。

これらのことから、ダム工事等で発生する建設汚泥を低コストで短期間に無害化し、有効利用できる技術のニーズが高まっている。

このたび、建設汚泥に発酵促進材を添加し嫌気発酵を促進することにより、汚泥に含まれる六価クロムを低減し、同時にpHを低下させて無害化し、埋戻し土等に、さらには堆肥を混入して植生基盤材として有効利用を可能とする工法を清水建設（株）と日清製粉（株）とで共同で開発したのでここに報告する。

2. 新しい建設副産物有効利用工法の開発

(1) 開発のきっかけ

日清製粉（株）製造の発酵促進材（商品名；カロリーコンポ、略称CC）が、チップ化した伐採材の堆肥化促進に有効であることがわかっていた。

ダム等の建設現場の濁水処理設備から発生する建設汚泥の無害化,あるいは植生基盤材としての有効利用を検討するなかで,この発酵促進材の利用を提案した。

試しに室内試験でダム建設現場で生じた脱水ケーキに発酵促進材とバーク堆肥を混合し嫌気発酵させたところ,アルカリ性が低下する傾向があることを把握した。

(2) 開発目標

開発の目標は,以下の4点である。

- ① ダム工事現場等で濁水処理設備から発生するセメント分を含んだ脱水ケーキを無害化したもの,あるいは植生基盤材等に有効利用できるものにする能力を有すること。
- ② ダム工事現場等で,過大な設備とならずに効果を発揮すること。
- ③ 経済的であること。
- ④ 処理されたものの安全性が高いこと。

目標にあげた理由は,それぞれ以下に示すとおりである。

①については,多くのダムでセメント分を含んだ建設汚泥の産業廃棄物としての処理に高いコストがかかっており,これを無害化するか有効利用することにより,産業廃棄物としての処理費用を削減することによる。

②については,ダム工事現場は近傍の狭隘な谷に,骨材製造設備と付属の濁水処理設備,コンクリート製造設備とセメント分を含んだ濁水の処理設備,コンクリート運搬設備・打設設備,およびグラウチング用の設備などのダム用仮設備をコンパクトに配置しなくてはならないので,それ以外にあまり過大な設備は設置する余裕がないケースが多いことによる。

③については,現在薬品による処理などがあるので,それと同等以上に経済的であることをめざすものである。

④については,二次汚染等が危惧されるようなことは,避けなければならないからである。



写真-1 シートかけの状況

(3) 開発の取組み

開発にあたっては,試験により明らかとなる課題を順次解決しながら進めた。

開発の取組みは以下に示すとおりである。

- ① Aダムでの,スラッジに発酵促進材およびバーク堆肥をバックホウで混合して,シートで覆い,嫌気発酵させ,時間とともに性状の変化を確認する原位置試験。
- ②脱水ケーキに対する発酵促進材の量を変化させた時のpH低下効果の室内確認試験。
- ③発酵促進材を脱水ケーキ中に均等に混合する方法の室内確認試験。
- ④実機のスラリー槽とフィルタープレスを使用して発酵促進材を脱水ケーキ中に均等に混合する方法の実証試験。
- ⑤スラリーに発酵促進材を混合処理し処理後の脱水ケーキを嫌気発酵させ土壌とし,これに堆肥を混合して,植生基盤材として十分な性能を有することを確認する堆肥化試験。

(4) Aダムでの原位置試験

Aダムにおいて,スラッジに発酵促進材およびバーク堆肥をバックホウで混合し,上部をブルーシートで覆い嫌気発酵をさせ,その性状を250日にわたって調査した。写真-1に,ヤードにおけるシートかけの状況を示す。

表-1 スラッジの性状

含水率 (%)	54.2
pH	11.8
六価クロム溶出量 (mg/l)	0.18, 0.26

表-2 試験ケース

	スラッジ 1kg に対する添加量 (g)	
	発酵促進材	バーク堆肥
I-①	58	140
I-②	58	140
I-③	39	140
II-④	57	0
II-⑤	38	0



写真-2 60日経過後のスラッジの表面

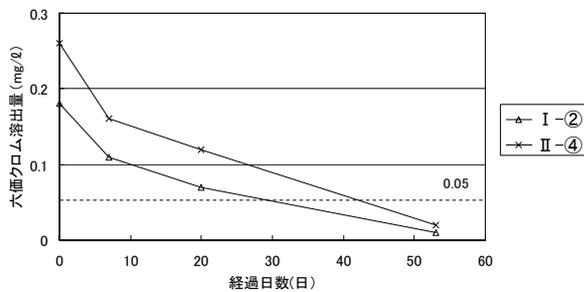


図-1 六価クロム溶出量の経時変化

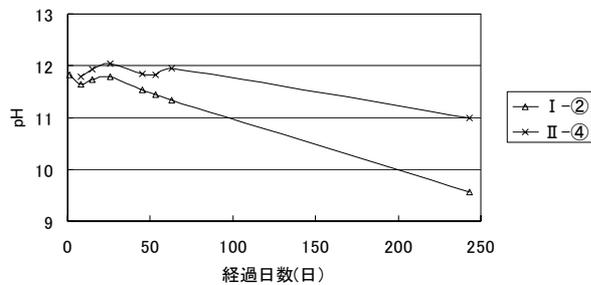


図-2 pHの経時変化

スラッジの性状を表-1に示す。また試験ケースは表-2に示すとおり5ケースを実施した。このうち代表的な2ケースの結果について、図-1に六価クロム溶出量の経時変化を、図-2にpHの経時変化を示す。写真-2に60日経過後のスラッジの表面の状況をしめす。

表-3 脱水ケーキの性状

含水率 (%)	44.6
pH	11.5
六価クロム溶出量 (mg/l)	0.01 未満

このAダムの原位置バックホウ攪拌試験の結果、以下のことが判明した。

- ①スラッジに発酵促進材を混合すると、六価クロム溶出量低減の効果がある。55日経過時に、六価クロム溶出量が当初の0.26mg/lから環境基準値の0.05mg/l以下に低減する。
- ②pH11.8のスラッジに発酵促進材を混合した場合、240日経過しても、最も低下したもので9.6までしか下がらない。
- ③バーク堆肥の影響でpHが低下する傾向がある。

(5) 脱水ケーキに対するpH低下効果の室内確認試験

室内試験で、Bダムの濁水処理設備で生成した脱水ケーキに、バーク堆肥と発酵促進材をホバートミキサーで混合し嫌気発酵をさせ、その性状を25日にわたって試験調査した。

脱水ケーキの性状を表-3に示す。また試験ケースは表-4に示すとおり4ケースを実施した。この結果について、図-3にpHの経時変化を示す。

表-4 試験ケース

	脱水ケーキ 1kg に対する添加量 (g)	
	発酵促進材	バーク堆肥
①	58	140
②	116	140
③	232	140
④	348	140

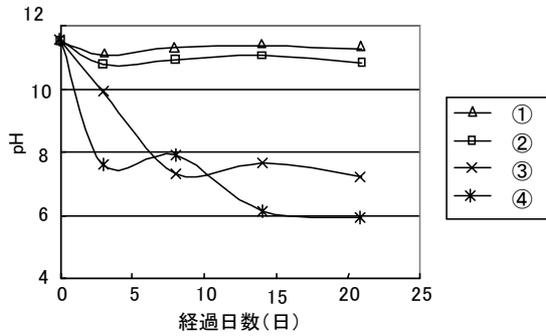


図-3 pHの経時変化

Bダムの脱水ケーキを使用して発酵促進材の量を変化させたpH低下の室内試験の結果,以下のことが判明した。

- ① pH11.5の脱水ケーキに発酵促進材を混合した場合,添加量が5.8%と11.6%ではpHの低下はほとんど認められず,23.2%と34.8%ではともに7日経過以降pH8以下となる。
- ②脱水機により圧密されたケーキを解砕し,粉体の発酵促進材を均等に混合するためには,一般的な室内試験練りなどに使用するホバートミキサーでは,非常に長時間を要する。

(6) 発酵促進材を均等に混合する方法に関する室内確認試験

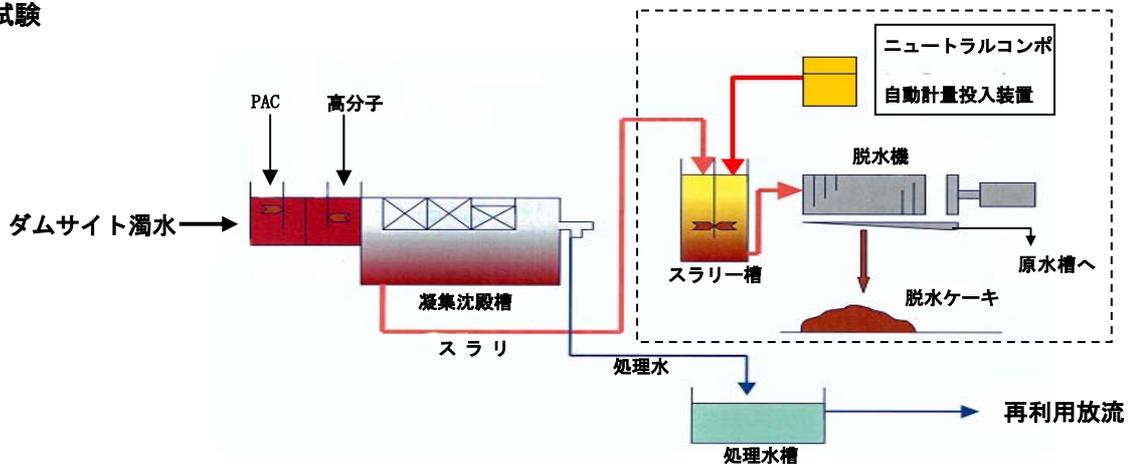


図-4 処理フロー



写真-3 ニュートラルコンボ

(5)の室内試験の課題として,脱水ケーキに発酵促進材を均等に混合することのできる簡易な方法を検討することが挙げられた。

そこでスラリーの段階で発酵促進材を混合してその後脱水処理する方法を考案した,その処理フローを図-4に示す。

本試験では, Bダムのスラリーに, 発酵促進材を攪拌装置で混合した後脱水処理して脱水ケーキを作成し, 発酵促進材の均等な混合状況の確認と脱水ケーキのpHの経時変化を15日にわたって試験調査した。

なお発酵促進材として前回まで使用した粉末状のものに加え,新たに開発したペレット状のもの(日清製粉製造,商品名ニュートラルコンボ,略称NC)も使用した。

写真-3にニュートラルコンボを,写真-4に試験状況を,写真-5に発酵促進材の投入状況を,写真-6に攪拌装置を,写真-7に脱水状況を,写真-8に脱水ケーキと粉末状発酵促進材の混合状況を,写真-9に脱水ケーキとペレット状発酵促進材の混合状況を示す。



写真-4 試験状況



写真-7 脱水状況



写真-5 発酵促進材の投入状況



写真-8 脱水ケーキと粉末状発酵促進材の混合状況



写真-6 攪拌装置



写真-9 脱水ケーキとペレット状発酵促進材の混合状況

(7) 実機による発酵促進材を脱水ケーキ中に均等に混合する実証試験

表-5 スラリーの性状

pH	8.8
六価クロム溶出量 (mg/l)	0.01 未満

表-6 試験ケース

	脱水ケーキ 1kg に対する添加量 (g)	
	発酵促進材・粉末	発酵促進材・ペレット
①	0	0
②	5	0
③	15	0
④	0	5
⑤	0	15

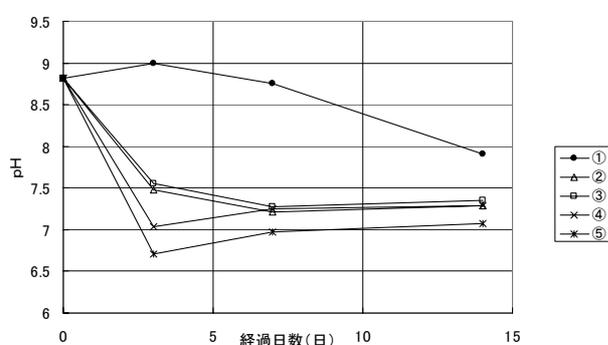


図-5 pHの経時変化

試験に使用したスラリーの性状を表-5に示す。また試験ケースは表-6に示すとおり5ケースを実施した。この結果について、図-5にpHの経時変化を示す。

発酵促進材の均等な混合状況の確認と脱水ケーキのpHの経時変化の試験の結果、以下のことが判明した。

- ①スラリーに発酵促進材を攪拌装置で混合してから脱水処理して脱水ケーキを作成する方法で、脱水ケーキ中に発酵促進材が均等に混合している様子が目視で観察される。また、発酵促進材によるpH低下の効果が発揮される。
- ②当初のpHが8.8の場合、発酵促進材の量は15%でなくとも5%で充分pH低下の効果があがる。また、ペレット状発酵促進材のほうがpH低下の即効性がある。



写真-10 フィルタープレス機

表-7 2種類のスラリーの性状

H	pH	10.8
	六価クロム溶出量 (mg/l)	0.33
L	pH	9.8
	六価クロム溶出量 (mg/l)	0.2

表-8 試験ケース

	スラリー	脱水ケーキ 1kg に対する発酵促進材の添加量 (g)
①	H	0
②	H	50
③	L	0
④	L	50

実機のスラリー槽とフィルタープレスを使用して、スラリーに発酵促進材を混合した後脱水処理をおこなう実証試験を実施した。写真-10にフィルタープレス機を示す。

スラリーはBダムのスラリーにAダムのセメントを混合し六価クロム溶出量を高めるよう調整した。またpHの高いものと低いものの2種類を準備した。このスラリーの性状を表-7に示す。また試験ケースは表-8に示すとおり各々のスラリーについて2ケースを実施した。この結果に関し、図-6と図-7に六価クロム溶出量の経時変化を、図-8と図-9にpHの経時変化を示す。

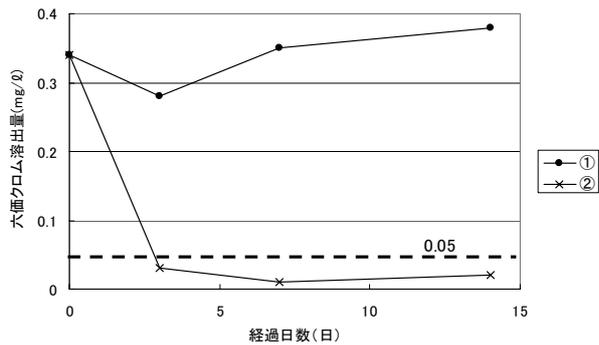


図-6 スラリーHの六価クロム溶出量の経時変化

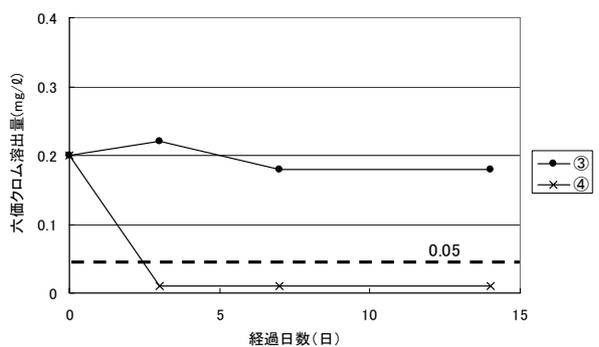


図-7 スラリーLの六価クロム溶出量の経時変化

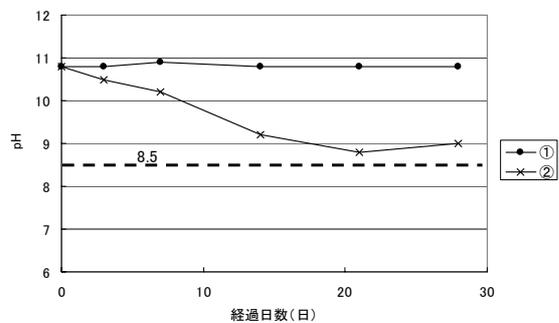


図-8 スラリーHのpHの経時変化

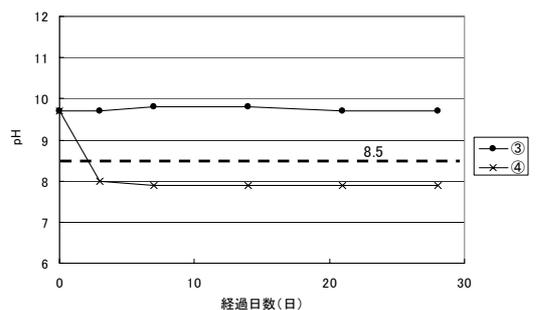


図-9 スラリーLのpHの経時変化

実機のスラリー槽とフィルタープレスを使用した実証試験の結果、以下のことが判明した。

- ①スラリーに発酵促進材をスラリー槽で混合してから脱水処理して脱水ケーキを作成することで、脱水ケーキ中に発酵促進材が均等に混合される。また発酵促進材による六価クロム溶出量の低減効果が十分に発揮される。
- ②当初のpHが10.5程度以下であれば、発酵促進材の量が5%でpHを8.5以下に低下させることができる。

3. 堆肥化試験

このように「バイオニュートラル工法」の開発を段階的にそれぞれの問題点を解決してすすめてきた。

実証試験の最終段階として、一連の実機を使用した堆肥化試験を以下の手順で実施した。

- ①スラリーは、Bダムのもを使用し、発酵促進材を5%混合し、脱水処理。
 - ②得られた脱水ケーキを30日間嫌気発酵させ土壌を作成。
 - ③これに、堆肥を混合し同時に芝を播種。
 - ④3週間後の発芽状況を観察。
- スラリーの性状を表-9に示す。
試験ケースは表-10に示すとおり4ケースを実施した。

この結果について、図-10に嫌気発酵時のpHの経時変化を示す。また発芽状況を写真-11に示す。

この試験の結果、以下のことが判明した。

- ①pHが10.5のスラリーに発酵促進材を混合し脱水処理で脱水ケーキとし、これを30日間嫌気発酵させることでpHが8.5以下の土壌を作成することができる。
- ②この土壌に化成肥料だけ混合したものと化成肥料とバーク堆肥を混合したものに芝を播種するといずれも充分生育する。そして生育状況は後者のもののほうが優れる。

表-9 スラリーの性状

pH	10.5
六価クロム溶出量 (mg/l)	0.01 未満

表-10 試験ケース

	発酵促進材を脱水ケーキに5%混合	化成肥料を土壌に0.3%混合	バーク堆肥を土壌に15%混合
①	無	有	無
②	無	有	有
③	有	有	無
④	有	有	有

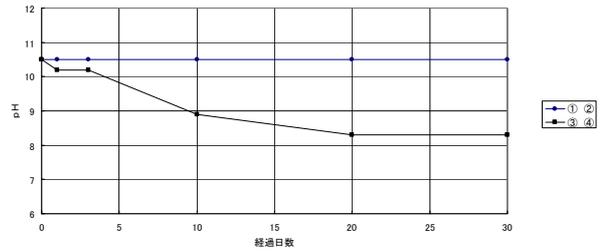


図-10 嫌気発酵時の pH の経時変化

③発酵促進材を混合しなかったものは化成肥料、バーク堆肥の有無にかかわらず芝の生育は悪いか不十分である。

4. 今後の予定

今後は実際のダム等の稼働中の現場において、当工法により、産業廃棄物として処理されている脱水ケーキを、埋戻し土さらには植生基盤材等の有価物として利用するという実績をあげることを予定している。

5. おわりに

新しい建設副産物有効利用工法として「バイオニュートラル工法」の開発をすすめてきた。ここに概要を報告するものである。

当初に掲げた目標を室内試験にて確認し、実機にて実証することで、当工法が技術的に有用であることを把握した。今後は、実際のダム等の現場において採用され実績をあげるべく努力していく予定である。

最後に、当工法の開発にあたりご指導、ご助言をいただいた関係各位に紙面を借りて、深く感謝の意を表します。

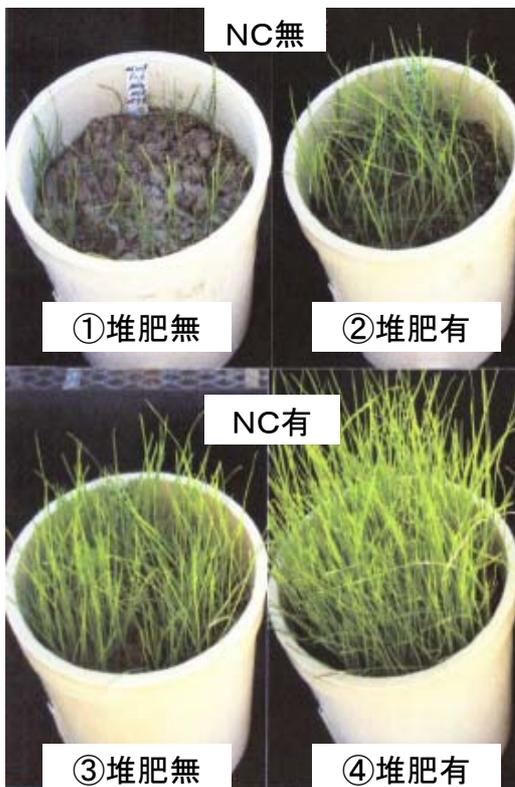


写真-11 発芽状況