

下水汚泥のセメント資源化処理と 利用技術に関する実用化評価研究

1. はじめに

1.1 はじめに

北勢沿岸流域下水道（北部処理区）北部浄化センターは昭和63年1月に供用開始し、現在、水処理はA系の3系列の半分まで運転を行っており、汚泥は分離濃縮後、ベルトプレスにより脱水され、その後陸上埋立処分されている。埋立処分は今後、処分地の確保難や運搬処分コストの増大が予測されるなか、これに代わる下水汚泥の有効利用を踏まえた、最適な汚泥の最終処理処分方法を早急に確立する必要がある。

下水汚泥のセメント資源化技術は下水汚泥を大量、かつ、安定的に処理できる方法であり、浄化センター内に設置したセメント資源化施設で、脱水汚泥に生石灰を混合して乾燥粉体とし、セメント工場で他の調合原料とともに焼成し、セメントを製造するものである。製造されるセメントは、汎用性の高いポルトランドセメントを対象としたもので、品質的にも市場の流通性を十分に考慮し、市販品と遜色のない製品を目指している。

本研究は、新世代下水道支援事業制度 機能高度化促進事業（新技術活用型）として平成12年度に、三重県、太平洋セメント(株)と共同研究を行い、下水汚泥のセメント資源化処理と利用技術に関して研究、評価を行ったものである。

1.2 目的

従来のセメント資源化技術は、脱水汚泥と生石灰の反応による水和熱により乾燥粉体を生成する技術であり、以下が課題となっていた

- ①脱水汚泥と生石灰の混合割合が1：1であり、使用石灰量が多い。
- ②乾燥粉体生成量が脱水汚泥の1.7倍であり、運搬費が増大する。

したがって、本研究では生石灰添加による水和反応に、乾燥機による加熱を加えることで、より経済的に下水汚泥をセメント資源化できる設備を実用化することを目的とする。

2. 研究内容

2.1 技術の概要

下水処理場におけるセメント資源化技術は、下水処理場で発生する汚泥をセメント工場側がセメント原料として受け入れる際の受入基準を満たす品質にまで加工する技術といえる。通常流通する普通ポルトランドセメントの品質を確保する上での基準というだけでなく、セメント工場における取り扱い性や貯留性あるいは作業環境を保全するという意味合いも含まれている。

図-1に乾燥粉体製造からセメント製造に至るまでのフローを示す。

また、図-2に下水処理場側における乾燥粉体製造プロセスについて概略フローを示す。

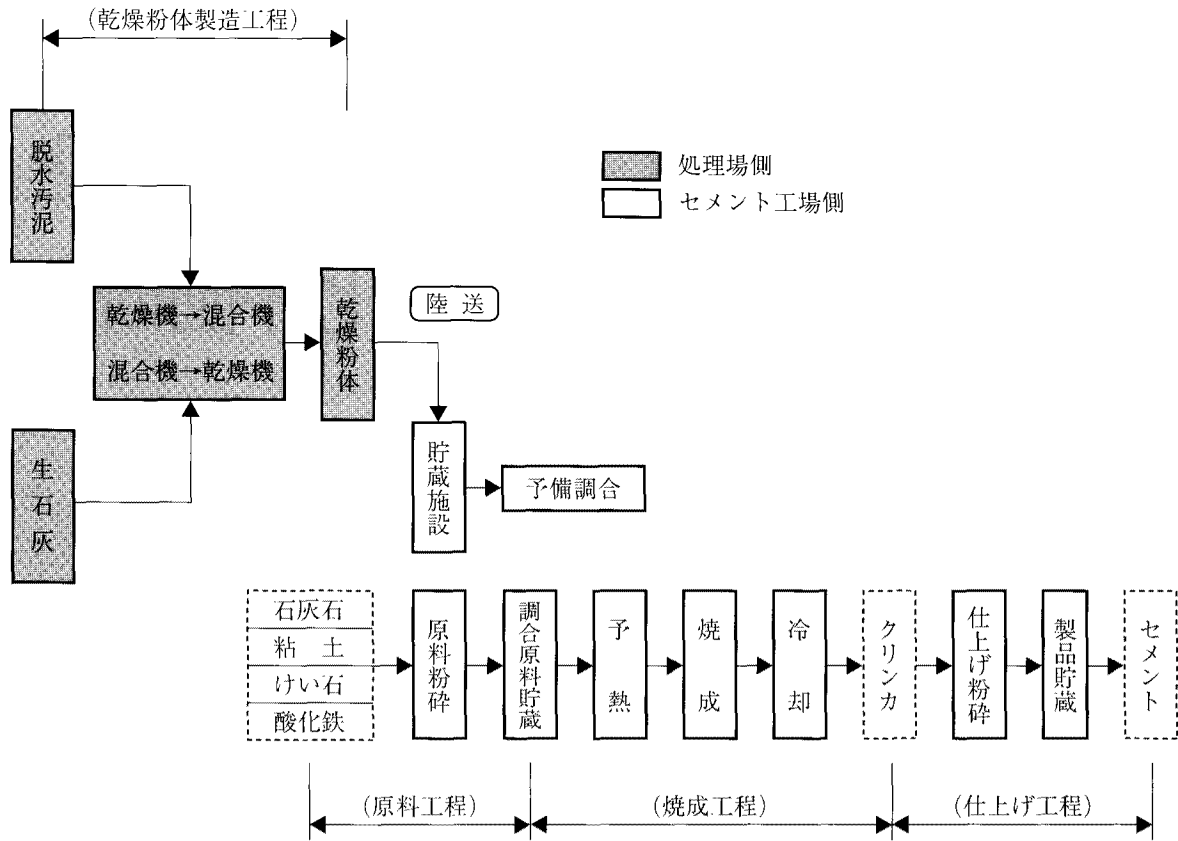


図-1 セメント資源化フロー

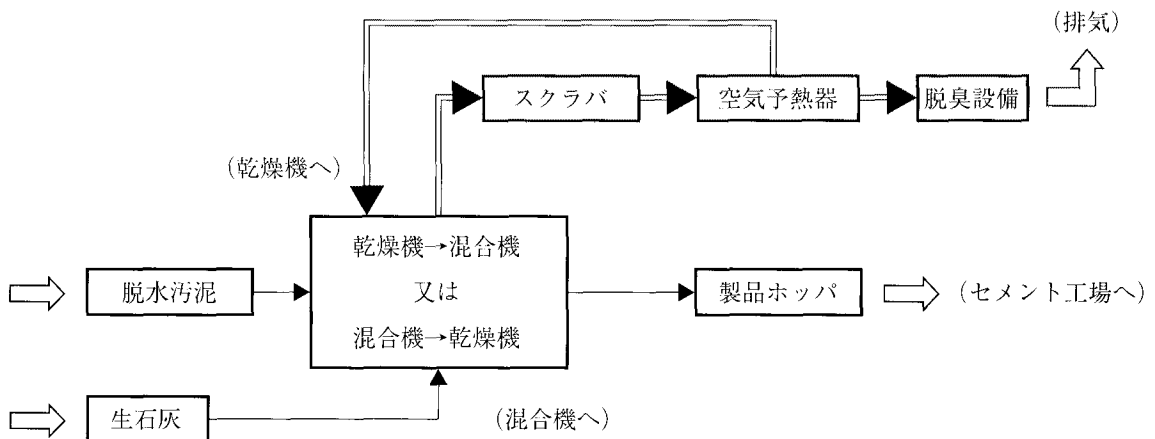


図-2 乾燥粉体製造フロー

2.2 本技術の特徴

下水汚泥セメント資源化技術は、下水汚泥を大量に安定的に処理できる方法として実用化するもので以下の特徴を有している。

- ①下水汚泥中の有機分を熱源として、また無機分をセメント原料として有効利用が可能である。
- ②焼却炉、溶融施設と比べて、設備も簡単で、維持管理の手間も少ない。
- ③乾燥粉体は、生石灰添加により腐敗防止が図られ、衛生的であることから長距離輸送・保存が可能である。

2.3 性能目標

主要性能目標を以下に示す。

①汚泥処理設備としての性能

汚泥減容化 : 脱水汚泥(含水率80%)に対して重量比率1/2以下

運転の安定性 : 24時間連続運転が可能で、自動化されていること。脱水汚泥含水率等の季節変動に対応できること。

維持管理 : 日常点検、整備が容易に行え、設備の運転について特別な技能を必要としないこと。

設備の安全性 : 設備の破損につながるトラブル及び環境対策は事前に検知し、フェールセーフの考えに基づき安全に設備停止が行われること。また、現場及び周囲の環境に影響を与える可能性がある項目(騒音、振動、排ガス、臭気等)は関連法規を遵守すること。

維持管理費 : 減価償却費、人件費、燃料費等の年間経費の合計が直接混合方式(生石灰乾燥方式)より安いこと。

②製品(乾燥粉体)性状

セメント工場側受入条件を満足していること。

<工場での製品(乾燥粉体)の受入条件>

製品含水率 : 5%以下

平均粒径 : 約100~200 μ m(最大粒径 3mm以下)

細菌・臭気 : 人体及び環境に影響のないこと。

③その他

当該脱水汚泥は高塩素濃度であるので、セメント工場での利用技術について製造工程の安定操業方法を確立する。

2.4 全体研究内容

全体研究内容は以下のとおりである。

- ①最適なシステム構成の設定：併用乾燥方式における最適フローの決定
- ②設計諸元の確立：実施設計に必要な諸元の決定
- ③安定操業確立：連続運転性及び汚泥乾燥粉体ハンドリング性の確認
- ④環境性の確認：処理場周辺的环境面への影響調査
- ⑤セメント製造条件の確認：工程管理の確立及び品質への影響調査。

2.5 実用化研究内容

2.5.1 乾燥プロセスの検討

乾燥機の機種を含め、乾燥粉体の製造プロセスに関して、最終品の目標性状や諸条件を考慮し、前乾燥方式・後乾燥方式に対する適用性を判断し、処理の安定性、維持管理性等について一般比較して最適な処理プロセスを絞り込む。

2.5.2 実験による確認

選定された処理プロセスを適用した場合の乾燥粉体の性状について把握する。セメント工場への受入に影響する項目として、含水率、粒径、塩素・リン・重金属含有量等の性状を把握する。

2.5.3 比較検討

実験による確認により得られた結果より選定されたシステムにおいて、運転操作性、維持管理性、経済性等の比較検討を行い、最適システムを選定する。

2.5.4 設計諸元と留意事項

実施設計に必要な設計諸元を検討し確立する。処理フロー、機種、方式等を決定する。また、設計上の留意事項を確立する。

3. 研究結果

3.1 乾燥プロセスの検討

(1) 乾燥機の分類

乾燥機には様々な種類があるが、これを伝熱方式、乾燥熱源を供給する熱媒体、キャリアガス等によって分類すると図-3のようになる。

(2) 乾燥機におけるシステムへの適応性

図-3に示す乾燥機のうち、今回の条件に対して適用しやすいと考えられる4機種に絞り込み、実験対象機種の検討を行った。表-1に適合性の検討結果を示す。その結果、以下の3つのシステムを適応性ありと判断した。

- ①間接蒸気乾燥機を適用した前乾燥システム

- ②バンド通気乾燥機を適用した前乾燥システム
- ③バンド通気乾燥機を適用した後乾燥システム

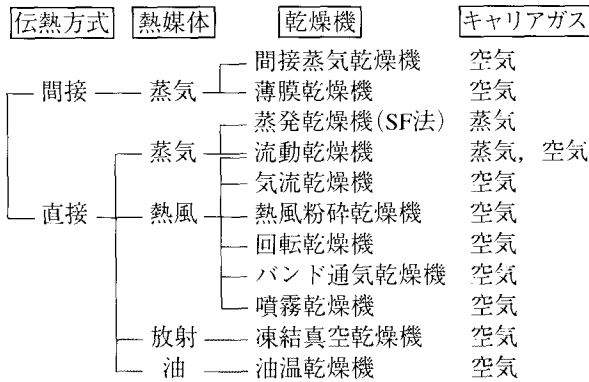


図-3 乾燥機の種類

表-1 乾燥システムに対する乾燥機の適合性

項目	間接蒸気		直接粉砕		直接回転		バンド通気		備考
	前	後	前	後	前	後	前	後	
1.被乾燥物に対する適応性	○	△	○	△	○	△	△	○	付着性, 形状, 熱分解性等の評価
2.製品性状	○	△	△	○	○	△	○	△	含水率, 粒径等についての評価
3.操作・制御性	○	△	△	○	○	△	○	○	立ち上げ時の手間等についての評価
4.維持管理性	○	○	△	△	△	△	○	○	乾燥機の熱源に関する維持管理性等の評価
5.排ガス対策	○	○	△	△	△	△	○	○	
総括・評価	○	△	△	△	△	△	○	○	

3.2 実験による確認

3.2.1 実験目的

3.1において選定した各併用乾燥方式を対象として、下水脱水汚泥に生石灰を混ぜセメント原料である乾燥粉体を製造するシステムにおいて、間接蒸気乾燥機及びバンド通気乾燥機を用いた汚泥乾燥実験を行い、乾燥と生石灰添加を併用した場合の設計諸元の検討及び乾燥粉体の性状把握を目的として実施した。

3.2.2 実験条件

実験条件を表-2に示す。

表-2 実験条件

	前乾燥		後乾燥		5%以下
	前乾燥汚泥含水率	生石灰添加率	生石灰添加率	乾燥粉体含水率	
条件①	50%	必要量	0.1		
条件②	40%	必要量	0.2		
条件③	30%	必要量	0.3		
条件④	20%	必要量	0.5		

3.2.3 実験結果

(1) 脱水汚泥の性状分析結果

塩素については0.07%・dry (700ppm), リンについては2.1~2.2%・dry (P₂O₅では4.8~5.0%・dry), アルカリ量については0.33~0.34%・dryであった。また、脱水汚泥の含水率は80.2%~80.4%であった。

(2) 乾燥性能及び生石灰添加結果

表-3に実験結果, 図-4に含水率の時間経過を示す。乾燥性能及び生石灰添加結果について以下の知見を得た。

- ①前乾燥方式の場合は乾燥工程を経た後の水和反応が効率的でなく, 目標含水率を満足するためには, 保温, キャリアガス(熱風)が必要となる。
- ②後乾燥方式は目標含水率まで容易に達することができる。
- ③バンド通気乾燥機は, 間接蒸気乾燥機に比べ目標含水率までの所要時間が短い。また, 生石灰添加により成形工程に有利に働き, 通気乾燥に適する。

表-3 実験結果

前乾燥	生石灰添加率	前乾燥含水率			
		50%	40%	30%	20%
前乾燥	乾燥状況	◎	◎	△	△
	熟成状況	△	△	—	—
	乾燥状況	△	◎	◎	◎
	熟成状況	—	△	△	△
後乾燥	生石灰添加率	0.5	0.3	0.2	0.1
	添加・成形	△	○	◎	△
	乾燥状況	—	○	◎	△
	備考	大きな塊・全体的に硬い		柔らかく強度が弱い	蒸気速度や乾燥物の分離性

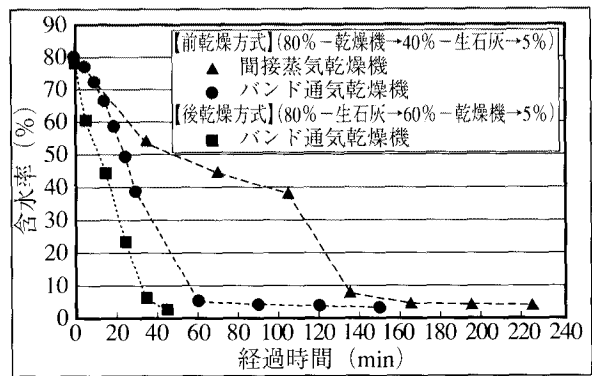


図-4 含水率の時間経過

(3) 乾燥粉体性状等の調査結果

バンド通気乾燥機を適用した後乾燥での汚泥乾燥実験で得られた乾燥粉体性状等の調査結果を表-4に示す。

- ①25t/日の脱水汚泥に対し, 生石灰添加率が20%の

場合、乾燥粉体生成量は約12t/日となる。対象セメント工場の生産数量(5,000t/日)から換算すると、乾燥粉体のリン、塩素及びアルカリ量の含有率は、セメント品質上の基準値を満足している結果となった。

②平均粒径は目標値の100~200 μ mを満足した。また、大腸菌群数は不検出であった。

表-4 乾燥粉体性状

項目	バンド通気乾燥		基準値 (目標値)		
	乾燥粉体	セメント換算	現状	JIS	
含有成分 (% or ppm)	リン (P ₂ O ₅)	1.00%	0.002%	約0.1~0.2%	規制値なし
	塩素 (Cl)	300ppm	0.7ppm	約50ppm	200ppm以下
	アルカリ量 (R ₂ O)	0.17%	0.0004%	約0.5~0.6%	0.75%以下
平均粒径 (μ m)	106		100~200 μ m		
大腸菌群数 (個/g)	不検出		不検出		

注) ・乾燥粉体成分は、乾重量基準で表示
 ・セメント換算成分は、セメント基準で表示
 (セメント工場生産量5,000t/日に対し、乾燥粉体量12t/日)

3.3 比較検討

3.2の実験結果を踏まえて、3システムについて運転操作性、維持管理性、経済性等の比較検討を行った。その結果、バンド通気乾燥機を適用した後乾燥システム(生石灰添加率0.2)が他の方式に比べ総合的に有利であると判断した。

表-5に比較検討結果を示す。

表-5 比較検討結果

	前乾燥				後乾燥
	間接蒸気乾燥	バンド通気乾燥			
生石灰添加率	0.2	0.1	0.15	0.2	0.2
1)主要機器構成	○	○	○	○	○
2)運転操作性	◎	○	○	○	◎
3)維持管理性	◎	○	○	○	◎
4)資格・免許	○	◎	◎	◎	◎
5)用水	◎	◎	◎	◎	◎
6)運転管理人員	◎	◎	◎	◎	◎
7)排ガス・臭気対策	◎	◎	◎	◎	◎
8)経済性	○	○	○	○	◎
総合評価	○	○	○	○	◎

3.4 設計諸元と留意事項

(1) 下水処理場側の設計諸元と留意事項

実施設計のための設計諸元を以下に示す。

- ・乾燥プロセス：生石灰添加+乾燥機(後乾燥方式)
- ・乾燥前設備：脱水汚泥と生石灰の混合設備
- ・生石灰添加率：20% (対脱水汚泥当たり)
- ・成形機：溝型ロール成形機
- ・乾燥機：バンド通気乾燥機
- ・製品性状：含水率5%以下、平均粒径100~200 μ m (最大粒径3mm以下)

図-5に処理フローを示す。

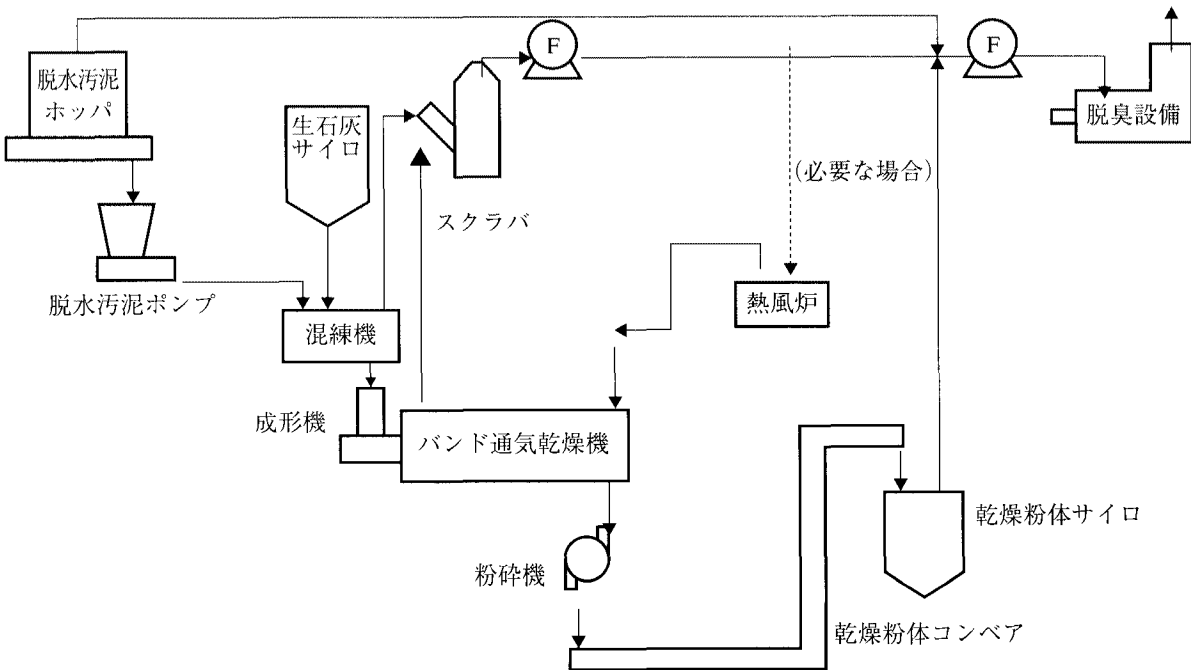


図-5 処理フロー

(2) セメント工場側の留意事項

- ① 処理場からの輸送は、乾燥粉体の発塵性、臭気等を考慮して密封式のタンクローリー等での輸送とした方が望ましい。
- ② 乾燥粉体は流動性の悪い粉体であるため、貯蔵サイロ等には、ブリッジ防止対策が必要である。
- ③ 乾燥粉体のセメント資源化にあたって必要な予備調査の相手は粘土系原料であるが、これは乾燥粉体との混合性を考慮すると、粉体である必要がある。したがって、この粘土系粉体用のサイロ等が必要となる。また、乾燥粉体の噴流性はそれほど強くはないものの、万一に備えてフラッシュ防止対策を備えておいた方が望ましい。
- ④ セメント資源化する乾燥粉体中の塩素は、セメント品質への影響が少なくても、セメント製造工程への影響としてプレヒータでのコーチング・トラブルを招く恐れがある。これを防ぐ手段として、塩素バイパス設備等を設けておいた方が望ましい。

4. まとめ

(1) 汚泥処理設備としての性能

① 汚泥の減容化

目標の脱水汚泥に対して、発生する乾燥粉体量を1/2以下に抑えることができる。

脱水汚泥 (80%) 25t/d

乾燥粉体 (5%) 約12t/d

② 運転の安定性

本システムは全自動運転が可能で連続運転の安定性は良好である。

③ 維持管理

日常点検、整備が通常2人程度で行え、設備の運転について特別な技能を必要としない。

④ 設備の安全性及び環境対策

設備の破損につながるトラブルは事前に検知し、安全に設備停止が行われる。周囲の環境に影響を与える可能性がある項目は関連法規を遵守できる。

⑤ 維持管理費

表-6に示すように、直接混合方式(生石灰乾燥方式)に比べ、生石灰使用量は1/5、乾燥粉体生成量は1/3程度となることから、セメント資源化処理のコストは低くなると推定され、維持管理費は安くなる。

表-6 方式別比較

	生石灰乾燥方式 (A)	併用乾燥方式 (B)	比率 (B)/(A)
脱水汚泥処理量(t/日)	25.0		
生石灰使用量(t/日)	25.0	5.0	1/5
乾燥粉体生成量(t/日)	43.8	11.9	1/3

(2) 製品 (乾燥粉体) 性状

セメント工場受入条件を満足できることを確認した。

(3) 事業化効果

① 経済性

本システム (併用乾燥方式) は現状の陸上埋立処分による処分費相当と考えられ、実施可能な技術と評価できる。

② 波及性

周辺環境の制約等で焼却炉が設置しにくい下水道処理場において、焼却・埋立に代わる方法である。

●研究担当者

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

江藤 隆
小野塚敏彦
岡本 達也

●この研究に関するお問い合わせは

研究審議役兼研究第一部長 宮原 茂
研究第一部主任研究員 小野塚敏彦
研究第一部研究員 杉本 東