

(論文)

# 濁水ケーキ処理装置「エコサンドリサイマー<sup>®</sup>」の開発

井田 徹(工博)\*・田中 毅\*\*・長谷川理貴\*\*・加納雅行\*\*

\*技術開発本部・化学環境研究所 \*\*機械カンパニー・破砕機部

## Application of the ECOSAND RECYMER<sup>®</sup> in the Reuse of Mud and Fine Dust from Crushing Plants

Dr. Toru Ida・Takeshi Tanaka・Masataka Hasegawa・Masayuki Kano

Recycling technologies for high water content waste soil, such as the by-products commonly produced by crushing plants and civil construction projects, are an important part of today's industrial recycling movement. Since such waste soil is produced in enormous quantities, a new low-cost, highly-available technology would offer the best solution. Kobe Steel has developed the ECOSAND RECYMER solidification system to solve this problem. The system inexpensively produces a high-strength and high-quality solid from high water content waste soils. This paper discusses this new system.

まえばき = わが国の碎石製品のうち、コンクリート用骨材などに広くもちいられる砕砂(5mm以下の粒度の砂)は、川砂・海砂などの資源枯渇の問題もあり、生産量が毎年増加している。一方、その生産過程では碎石微粉末が発生し、主に濁水処理(凝集・脱水)されて濁水ケーキとして排出される(第1図)。濁水ケーキは、一般に含水率が高く軟弱であるため有効な利用法がなく、管理型処分対象の産業廃棄物である。一方、近年は処分場不足や処分費高騰が深刻化しており、その処理は碎石業界全体の大きな問題となりつつある。

そこで、当社はこのような問題を解決すべく、安定して大量の需要が見込める高品質の固化製品を、低コストで生産する高強度固化システム(エコサンドリサイマー)を開発したので紹介する。

### 1. システムの構成

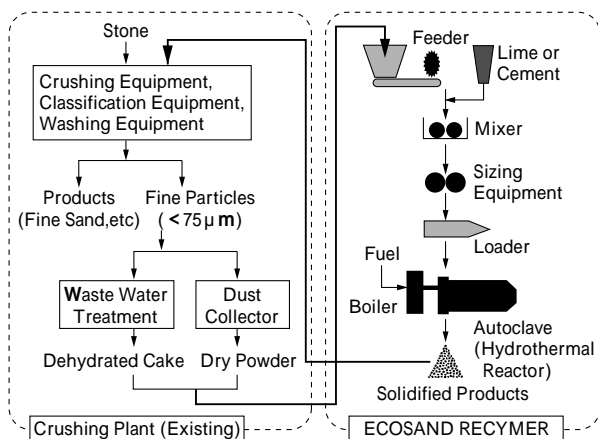
第1図に、エコサンドリサイマーのプロセスフローを示した。本図は、碎石濁水ケーキを高強度固化して再利用する場合のフローである。碎石プラントから発生した濁水ケーキは解砕されつつコンベヤで混合機へ定量供給され、固化材である生石灰またはセメントなどとともに

均一混合される。原料混合物は、必要に応じて成形または造粒されたあと、圧力反応器であるオートクレーブへ供給される。オートクレーブではボイラなどで発生させた水蒸気をもちいて混合原料を加熱し、水熱反応による固化をおこなう。代表的な水熱反応条件は120~250℃、飽和蒸気圧、5時間程度である。

写真1は、濁水ケーキ処理量50ton/batch(1日=1~2batch)のエコサンドリサイマーの設備であり、2000年11月に完成し稼働開始した。このうち、混合機は胴体部が回転するとともに、これと反対方向に内部の攪拌翼が回転することにより原料と固化材の均一混合を果たしている。この混合機は、20m<sup>3</sup>/h程度の処理能力を有している。また、オートクレーブは、直径2.6m、長さ24mである。

### 2. 水熱反応による固化の原理とプロセス条件の最適化

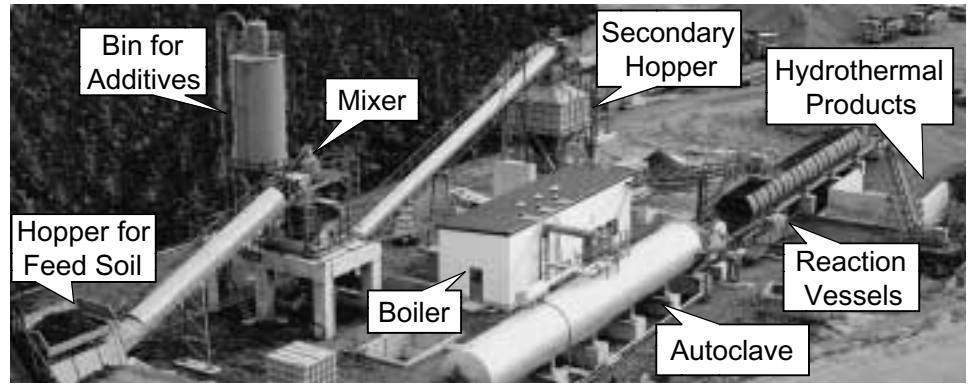
エコサンドリサイマーとは、水熱反応をもちいた泥土の固化技術である。すなわち、碎石濁水ケーキなどの泥土を石灰またはセメントなどの固化材と混合して120~250℃(飽和蒸気圧)の条件下で水熱反応させることにより、泥土中のシリカ(SiO<sub>2</sub>)と固化材中の石灰(ライム、CaO)からケイ酸カルシウム水和物の一種であるトバモライト(5CaO・6SiO<sub>2</sub>・5H<sub>2</sub>O)を合成して高強度の固化品を与えることを目的としている(第2図)。常温におけるセメント固化反応で生成するケイ酸カルシウム水和物がゲル状(非晶質)であるのに対し、高温高圧の水熱条件下では、第2図に示したような強固なケイ酸カルシウム(トバモライト)の結晶が生成するため、短時間で高強度な固化品がえられる。写真2には、濁水ケーキの水熱反応によってえられた固化品の電子顕微鏡写真を示す。石粒子の間隙をトバモライトの結晶が満たし、また造粒品の表面から外側に結晶が成長しているのが認められる。エコサンドリサイマーの実機設計に際し、種々の条件最適化をおこなった。そのうち混合条件、固化材添加量および原料の鉱物組成の影響に関する検討結果を以下に述べる。



第1図 エコサンドリサイマーによる碎石濁水ケーキの固化再利用システム

Fig. 1 ECOSAND RECYMER for recycling crushing plant waste soil

写真1 エコサンドリサイマー (50t/batch) の設備配置  
Photo 1 Layout of ECOSAND RECYMER (50 t/batch)



第2図 トバモライトの生成モデル  
Fig. 2 Schematic model of tobermorite formation

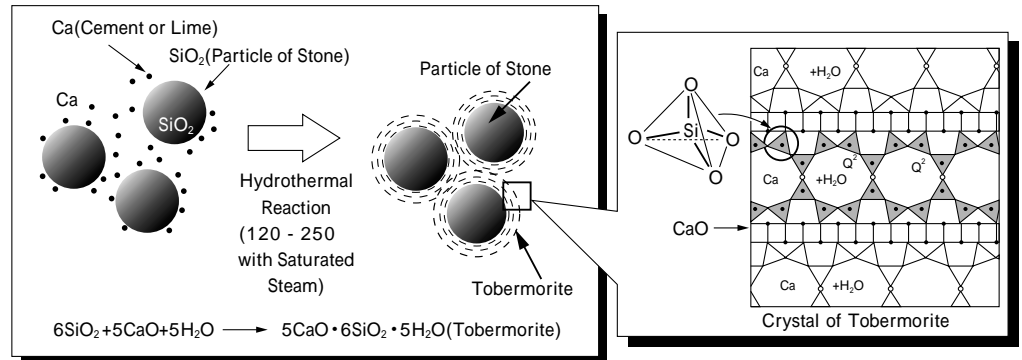
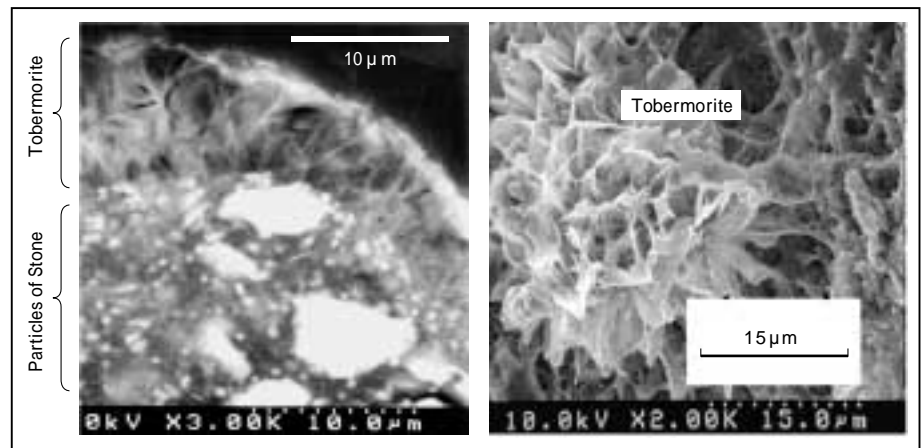


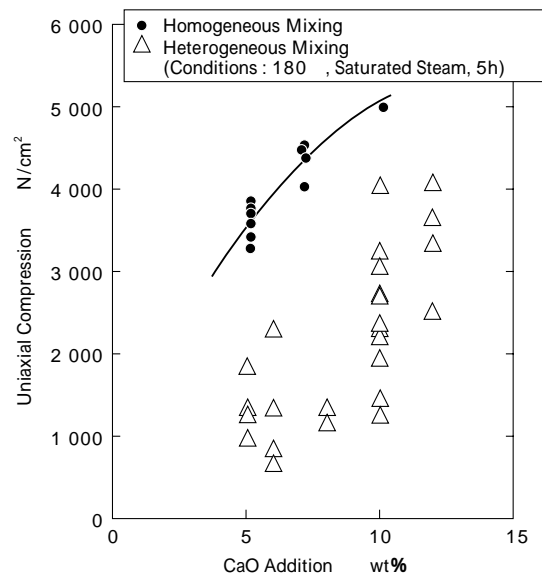
写真2 水熱反応生成物のSEMによる断面写真  
Photo 2 SEM cross sectional view of hydrothermal products



第3図に、原料と固化材の混合均一性が生成物強度に及ぼす影響を示す。混合均一性が劣る場合、図中 で示したように生成物の一軸圧縮強度は小さくかつバラツキが大きい。そこで、画像解析法を応用した混合均一性の定量評価法を開発し、混合条件の最適化をおこなった。

その結果、第3図の●で示したように、同一原料でも生成物強度のバラツキが小さくできるとともに、不均一混合条件下でえられた強度レベルよりも明確に大きな値を示すことがわかった。実機的设计にあたっては、均一混合が可能な高性能混合攪拌機を標準として設置することとした。

第4図には2種類の原料をもちいて固化材添加量の影響を調べた結果を示す。原料Bの方が原料Aよりも生成物の強度が大きかった。両方の原料の鉱物組成をX線回折により調べた結果、第5図に示すように、原料Bは石英成分を多く含むのに対し、原料Aは石英成分が少なく、その代わりに雲母や長石を多く含むことがわかった。エ



第3図 水熱固化品の強度に対する均一混合の効果  
Fig. 3 Effect of homogeneous mixing on product strength

コサンドリサイマーの目的とするトバモライトは、第2図に示したように石英の結晶構造に含まれるような正四面体ケイ酸イオンを基本骨格として持っているため、石英成分の多い原料Bの方が生成物強度が高くなったと考えられる。種々の濁水ケーキや土砂を原料として水熱反応をおこなった結果、第5図の原料Bのような石英成分が多い原料ほど固化品強度は大きく、雲母成分が多いほど強度は小さくなる傾向がえられた。後者の場合は、石英を添加することにより固化品強度が大きくなることを確認しており、他の原料ケーキなどと混合することにより反応性を調節することが可能である。

また、第4図には固化材として生石灰およびセメントをもちいた結果もあわせて示した。セメントをもちいる場合も、セメント中の石灰(CaO)含有量を基準に添加量を換算することができる。生成物の目標強度を一軸圧縮強度3000N/cm<sup>2</sup>以上とすると、反応性の低い原料では生石灰添加量約6wt%以上、また反応性の高い原料では約4wt%以上で強度目標を満足することがわかった。また、これらの固化品の吸水率は、おおむね12~15wt%であった。

### 3. エコサンドリサイマーによる固化品の品質

第1表に、砕石プラントから発生する濁水ケーキおよび浚渫土脱水ケーキをもちいた水熱固化処理結果の一例を示す。固化条件は、180℃(飽和蒸気圧)で5時間である。砕石濁水ケーキの固化品は、いずれも3000N/cm<sup>2</sup>以上の一軸圧縮強度を示し、浚渫土脱水ケーキの固化品も2000N/cm<sup>2</sup>以上であった。また、100力以上の砕石プラントの濁水ケーキをもちいて固化反応をおこなった結果、安定して3000~5000N/cm<sup>2</sup>以上の強度がえられることを確認した。

砕石濁水ケーキから製造した固化品の品質として、生コン用細骨材に混合する場合を想定してコンクリート試験をおこなった。第2表に試験条件と結果を示す。試験体Aは、粗骨材(20~5mm)と細骨材(0~5mm砂粒分)、ポルトランドセメント、水を混練して調製したものである。一方、試験体Bは、濁水ケーキから製造した固化品を粉砕した0~5mm砂粒分(ケーキ固化砂)により細骨材の10wt%を置換し、その他の成分は試験体Aと同じにして調製した。各試験体はコンクリート圧縮試験(JIS A 1108)にしたがって水中で7日間養生した後、一軸圧縮強度を測定した。その結果、第2表に示したように固化品の砂粒分を添加しても強度に全く差は認められなかった。この結果は、エコサンドリサイマーによる濁水ケーキの固化砂は、吸水率が細砂よりも大きいものの、生コン用細砂として限定した割合で混合しもちいる場合は、コンクリート強度特性に影響を与えないことを示してい

第2表 コンクリート試験条件と結果  
Table 2 Concrete test conditions and results

	Mixing Ratio wt%						Average Uniaxial Strength of Test Pieces (n=3) N/cm <sup>2</sup>
	Coarse Aggregate	Sand	Cement	Water	Fine Aggregate from Hydrothermal Product	Total	
Test Piece A	53	27	13	7	0	100	2 013
Test Piece B	53	24	13	7	3	100	2 131

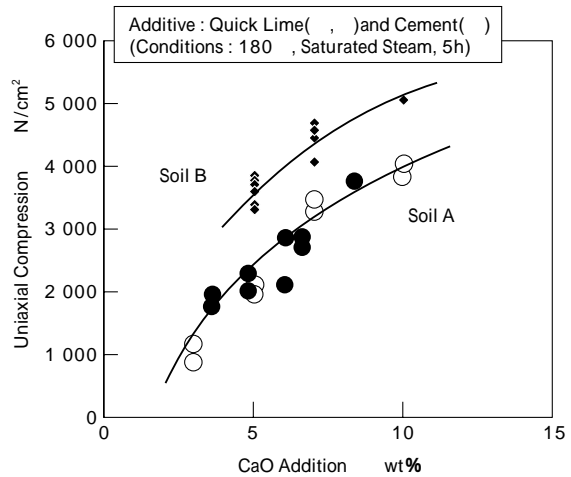
る。

### 4. 今後の課題

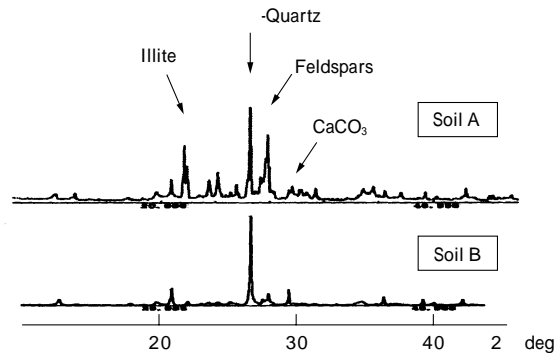
今後の課題として、以下の3項目が挙げられる。

#### 1) コスト低減

水熱反応を利用する本固化技術は、従来のような焼結による固化処理にくらべ低温で処理するため、処理コストが安く(約1/5)、炭酸ガス発生量の少ない処理法である。建設副産物の再資源化にとって処理コストの低減



第4図 水熱固化品の強度に対する固化材添加量の影響  
Fig. 4 Effect of CaO addition on product strength



第5図 原料AとBのX線回折結果の比較  
Fig. 5 XRD profile comparison between cakes A and B

第1表 エコサンドリサイマーによる固化処理結果  
Table 1 ECOSAND RECYMER hydrothermal reaction results

	Composition	Content of SiO <sub>2</sub> Wt%	Content of Water Wt%	Uniaxial Strength of Hydrothermal Products N/cm <sup>2</sup>
(A)Filter Cake	Sand Stone	32.2	21.0	4 019
(B)Filter Cake	Sand Stone	58.5	27.4	4 558
(C)Filter Cake	Granite	67.3	26.3	5 015
(D)Construction Mud			47.1	2 034

は重要な課題である。廃棄物処理コスト分は差引いて考慮すべきであるが、大量に発生する汚泥や浚渫土などの処理のためにコスト低減は欠かせないと考えられる。このため、処理条件の最適化を進めて、処理コストおよび設備コストのさらなる低減を図っていく。

## 2) 多様な用途への展開

泥土から土木材料への再利用だけでなく、ブロックなどを含めた多様な用途への対応を図っていく。

## 3) 多様な汚泥への対応

大量に発生しかつ発生量が一定でない建設汚泥や浚渫土などに対し、処理時間および処理後の養生時間の短いエコサンドリサイマーおよびエコケーキシステムは、利点が発揮しやすいと考えられる。変化の多い原料性状に対応できるプロセス開発により、これらへの対応を図っていく。また、土壌浄化技術との組合せにより、焼却灰や有害物汚染土壌への対応も可能と考えている。

むすび=エコサンドリサイマーは、次のような特徴を持っている。

- 1) 製品強度が大きく、一軸圧縮強度として2 000~5 000 N/cm<sup>2</sup> がえられる。
- 2) 他の高強度固化技術にくらべて処理コストが安い。  
これは、焼結や溶融固化のように1 000 以上に加熱する必要が無く、200 以下程度の低温処理のためエネルギーコストが小さいことによる効果大きい。
- 3) 添加剤は生石灰、セメントまたはセメント系固化材を使うことができ、安価であるうえ、環境への負荷が小さい。また、処理品のpHは中性に近い。
- 4) 用途・要求品質に応じて種々の形状・寸法および強度に調節が可能である。すなわち、添加剤の量により強度の調節が可能であり、小粒径に造粒したのち固化した製品はそのまま砂に混合することができ

る。また、プレス成形後固化することにより、球形、豆炭型やブロック製造も可能である。

- 5) 湿式砕石設備から発生する濁水ケーキだけでなく、乾式ダスト・浚渫土・石炭灰などへも適用可能である。

濁水ケーキをはじめとする汚泥の有効なリサイクル技術、設備の開発への期待はきわめて大きく、それに対する回答として水熱反応を利用した高強度固化装置であるエコサンドリサイマーを開発した。本システムの第1号機(ケーキ処理量50t/d)は2000年11月に稼働を開始した。

すでに雨水などによる再泥化が起こりにくい汚泥の安定化処理法である「エコケーキシステム」も開発し、実機プラントが順調に稼働中である。エコサンドリサイマーとエコケーキシステムを組み合わせることにより、発生する泥土や濁水ケーキからの製品メニューをブロック、コンクリート砂代替品、路盤材のように広げることができ、需要の変化や泥土・濁水ケーキ発生量の変化に応じたフレキシブルなリサイクルシステムとすることができる。

## 参 考 文 献

- 1) 井田 徹ほか：骨材資源，Vol.32, No.125 (2000) p.23.
- 2) 井田 徹：月刊地球環境，Vol. 31, No.9 (2000) p.130.
- 3) 加納 雅行：第27回全国砕石技術大会(東京)，予稿集(2000) p.169.
- 4) 井田 徹：第10回日本能率協会2000環境保全対策技術カンファレンス，セッション6排水・汚泥処理技術最新動向予稿集(2000) p.6-2-1.