

助成事業名称：汚染土壤に含まれる有害物質の固化・不溶化に関する技術開発

助成事業社名：株式会社 竹中工務店

助成年度：2002(平成14年)年度

1. 技術開発担当・照会先

a)技術開発担当

両角昌公・大阪本店設計部技術担当課長

b)照会先

大阪本店設計部 大阪市中央区本町4丁目1-13(TEL:06-6263-9752 FAX:06-6263-9750)

c)共同技術開発社(先)

- | | |
|------------------------|--------------------|
| ・大阪府立大学大学院工学研究科(実験施設) | 大阪府堺市学園町 1-1 |
| ・(財)関西環境管理技術センター(実験施設) | 大阪府大阪市西区川口2丁目 9-10 |
| ・(株)竹中土木 | 大阪市中央区本町4丁目1-13 |
| ・(株)宇部三菱セメント研究所(実験施設) | 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 |
| ・三菱マテリアル(株) | 東京都千代田区大手町 1-5-1 |
| ・宇部興産(株) | 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 |

d)その他の実験施設

- | | |
|-----------|----------------------|
| ・(株)パウレック | 兵庫県伊丹市北伊丹 8 丁目 121-1 |
|-----------|----------------------|

2. 技術開発の目的と開発内容

河川や河口に大量に堆積する重金属を含むヘドロ、並びに化学工場の跡地などの砂礫を含む汚染土壤は、土壤水洗設備等によって洗浄処理され、重金属の洗浄が可能な砂礫部分は再利用されつつある。しかし、洗浄残分、すなわち微細な土壤を大量に含む洗浄スラッジについては、濃縮された重金属が多量に残留している。さらに、現状の処理方法は、不溶化の長期安定性に十分な信頼性がないまま管理型処分場に廃棄処理されているのが現状である。

本事業において技術的な確立を目指すシステムは、重金属を含むスラッジ等を特殊な処理材を添加し、造粒・コーティングを行うことで有害物質の固化・不溶化をより信頼性の高いものとし、さらに、埋め戻し材・路床材等の土木材料に有効利用することを目的とする。

本事業は、大きく3つのサブテーマで構成した。

第1のサブテーマでは、ハンドリングの悪い重金属を含むスラッジを小型の解砕・造粒機(内容積：5 $\frac{1}{2}$ ℓ)を用いて平均粒径が5mm以下になるように造粒する技術を開発する。併せて、この造粒物の表面に不溶化材によるコーティング層を形成する技術を開発した。その後、シルト程度の細粒土に所定の重金属を加えて人工的な汚染土壤(以後、模擬汚染土壤)を作り、これに上述の技術を適用し、第2のサブテーマの分析試料とした。

第2のサブテーマでは、有害物質を物理的・化学的に処理するために、幾つかの処理材に着目し、スクリーニング(4回)を行ない、さらに必要に応じて新しい処理材の開発も試みた。また、第1のサブテーマで開発した技術、すなわち模擬汚染土壤に処理材を添加・造粒し、さらに不溶化層を構築した造粒物について所定の方法で重金属の溶出量を定量的に分析し、その効果を評価した。

次に、溶出特性について長期変化を確認するために、各国の試験方法の実態を調査した。また、併せて重金属の溶出特性も調べた。なお、試験方法の提案は平成15年度の課題として実施したい。

第3のサブテーマでは、第1、第2のサブテーマの結果を踏まえて、実用レベルの施工システムの構築とスケールアップの影響を検討した。

具体的には、造粒機を中心に各材料の貯蔵タンク、計量機、ベルトコンベアおよびこれらを自動化するための制御機等を備えた実用化レベルのシステムを提案した。さらに前工程である洗浄法および汚染土壤の含水率を調整するための脱水機を組み込んだトータルシステムの提案も併せて試みた。

次に、スケールアップ効果、すなわち第1、第2のサブテーマで得られた性能が、実システムでも得られるか否かについての確認実験を行い、小型機の実験結果との整合性を調べた。実験は内容積100 $\frac{1}{2}$ ℓ(2回)および300 $\frac{1}{2}$ ℓ(1回)の実用レベルの解砕・造粒機を用いてスケールアップの影響を調べた。なお、内容積100 $\frac{1}{2}$ ℓの実験では、実際に重金属を添加して、その影響を調べ、内容積300 $\frac{1}{2}$ ℓについては、重金属を添加せずに機械の性能を検証した。

3. 廃棄物処理技術開発の成果

3.1 重金属の固化・不溶化法の開発

3.1.1 重金属の固化・不溶化の対象と必要性

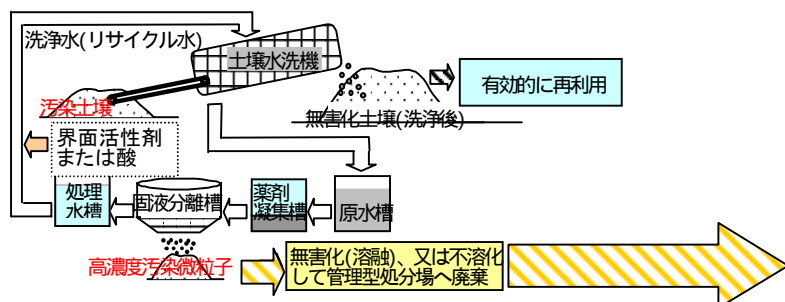


図-1 汚染土壌洗浄処理のフロー

本課題の重要性と必要性

洗浄後の汚染微粒子の問題点

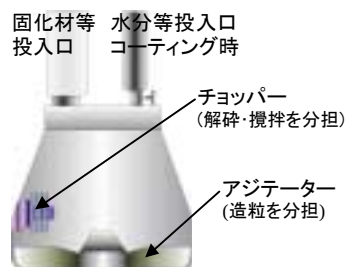
- ・ 有害物質が高濃度、
- ・ 固液分離後の汚染土壌は微粒子でハンドリングが困難、
- ・ 現状で最終処分場が不足、また、将来も確保が困難、
- ・ 現状で不溶化が不十分、将来、二次汚染の懸念、

3.1.2 重金属の固化・不溶化工法の開発(論理と装置の選定)

■ 論 理

ハンドリングの向上を目的に粒径を5mm以下に造粒する。
造粒時に固化材を添加し、固化造粒する。
さらに不溶化材でコーティング層を形成する。

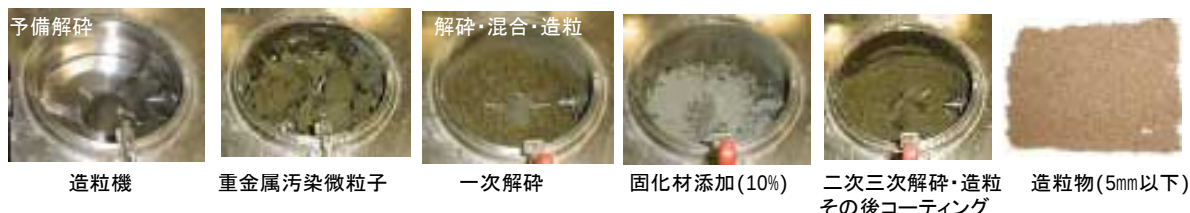
■ 施工機器の選定



■ 実験機(容量：5リットル)



■ 造粒・コーティングの手順



3.1.3 技術開発の成果1 (造粒物の粒径と造粒機の条件)

チョッパーおよびアジテーターの回転数と回転比を変化させることにより粒径を自由に調整できる。

表-1 解砕・造粒機の設定条件と造粒物の関係

設 定		結 果		
項 目	条件	造粒物の粒径	その他	最適回転数
a) 造粒時間	長いと	大きくなる	5分以上 変化小	二次解砕時 アジテーター=250rpm/min チョッパー=2,500rpm/min 攪拌造粒時 アジテーター=300rpm/min チョッパー=3,000rpm/min
b) アジテーターの回転	早いと	大きくなる	—	
c) チョッパーの回転	早いと	小さくなる	影響力は小さい	
d) 土壌の含水率	低いと	小さくなる	—	

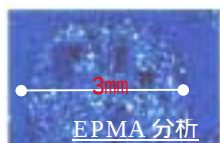
3.1.4 技術開発の成果2 (固化・コーティングの効果)

■ 固化材の均一性

■ コーティング層の形成

■ 固化・コーティング効果

■ 減容(容積)効果



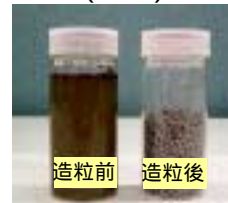
断面の各点は固化材の粒子。分散・均一性に優れている



造粒物表面の各点は不溶化材の粒子。コーティング層が均一に形成されている



濁っている → 澄んでいる
100% 15% 0.5%
6時間振とう試験後の解膠率



100% 75%
造粒による減容(容積)効果

3.2 固化・不溶化材(処理材)の開発

3.2.1 実験概要

■ 処理材のスクリーニング試験（造粒機容量：5kg/バッチ、計4回、100kg/バッチ 計2回）

土質の異なる2種類の模擬汚染土壌(AおよびB、重金属溶出量設定値：土壤環境基準の10～2000倍)を対象に、サブテーマ1で開発した固化・不溶化技術を適用し、重金属の溶出量が土壤環境基準以下に低減できる適正な処理材(固化材および不溶化材)を探索し、必要に応じてその開発も行った。

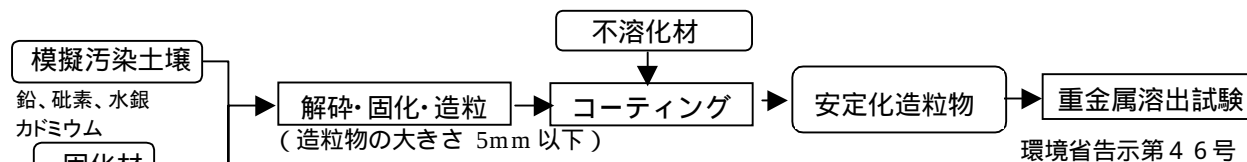


図-2 スクリーニング試験の手順

■ 固化・不溶化した造粒物の長期安定性の評価

固化・不溶化した造粒物の長期安定性(重金属溶出抑制維持性能)を評価するため、既往の評価方法を調査するとともに、オランダ規格 NEN7343 に規定されるカラム試験およびシリアルバッチ試験の2種類の方法で重金属の溶出量を測定した。

3.2.2 実験結果

■ 処理材の性能

溶出試験の設定条件、添加量、処理材の種類、固化・不溶化した造粒物からの溶出量の一例を表-2に、また、固化・コーティングによる不溶化の機構を表-3に示す（造粒機容量：100kg/バッチ）。

表-2 溶出量試験の条件と結果

対 象 重 金 属	土 壌 環 境 基 準 (mg/L)	模 擬 汚 染 土 か ら の 溶 出 量 設 定 値 (mg/L)		処 理 材				安 定 化 造 粒 物 か ら の 溶 出 量 (mg/L)
				固 形 化 材	添 加 量 (%)	不 溶 化 材	添 加 量 (%)	
鉛	0.01	0.1	汚 染 土 A	S-1 (マ グ ネ シ ア 系)	15	T-1 (マ グ ネ シ ア 系)	10	<0.005
		1.0	汚 染 土 B		10		10	<0.005
砒 素	0.01	1.0	汚 染 土 A	S-2 (固 化 材 系)	10	T-2 (セ メ ン ト 系)	10	<0.005
水 銀	0.0005	0.05	汚 染 土 A		10		10	<0.0005
			汚 染 土 B					<0.0005
カドミウム	0.01	1.0	汚 染 土 A		10		10	<0.001

表-3 不溶化の機構

対 象 重金属	不溶化の機構		
	固化（造粒）	コーティング	
鉛	水和物(Mg(OH) ₂)の生成	水酸化物(Pb(OH) ₂)生成による鉛の固定	コーティングによる重 金属イオンの拡散抵抗 の増大 固化・造粒物の補強
砒素	水和物の生成 (エトリンガイト、C-S-H 等)	水和物結晶(エトリンガイト)中への砒素の固定	
水銀		水和物(C-S-H)表面への水銀の吸着、硫化物(HgS)生成による水銀の固定	
カドミウム		水酸化物(Cd(OH) ₂)生成によるカドミウムの固定、水和物(C-S-H)表面へのカドミウムの吸着	

■ 安定化造粒物の長期安定性試験

(1)カラム試験：安定化造粒物の埋戻しを想定し、造粒物を充填した円筒形カラムの下部より pH4 の硝酸溶液(模擬酸性雨)を連続流入し、重金属溶出量の経時変化を測定した。(長期材令継続)

(2)シリアルバッチ試験：環境省告示第46号規定の検液作成方法に準拠し、溶媒として pH 5.8～6.3 の試料液の変わりに pH 4 の硝酸溶液を用い、また振とう試験を最大10回繰返し、繰返し回数毎の重金属溶出量および造粒物の解膠状況を把握した。(長期材令継続)

3.3 実用化システムの開発

3.3.1 目的

実用レベルの施工システムを構築するためには、実験機から実用機へのスケールアップ効果について、その影響を調べておく必要がある。そこでサブテーマ3では、実用レベルの施工システムの提案を目的に実用レベルの解砕・造粒機を用いた実験を行った。

3.3.2 スケールアップ効果に関する論理と確認実験

一般にスケールアップ機の容量が実験機の容量の 10～20 倍以内であれば、実験機で得た性能を損なわずにスケールアップが可能と言われている。そこで本実験では、室内実験機の 5 ㍓/バッチに対して 100 および 300 ㍓/バッチの実用レベルの 2 機種を選定し、スケールアップの影響を検討した。

3. 3. 3 スケールアップ効果に関する実験結果と結果に基づく実用プラントの提案

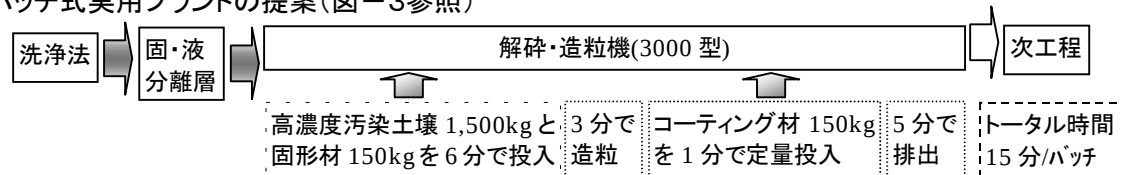
A) スケール効果に関する実験結果

本実験から、角速度、すなわち、造粒物の移動する距離が一定の条件で品質も一定になることが明らかになった。また、容量が 5 ㍓から 100 ㍓へのスケールアップは容量比で約 20 倍となるが、このような条件でも、100 ㍓の性能は 5 ㍓の性能とほぼ同等の値を得ることができた。

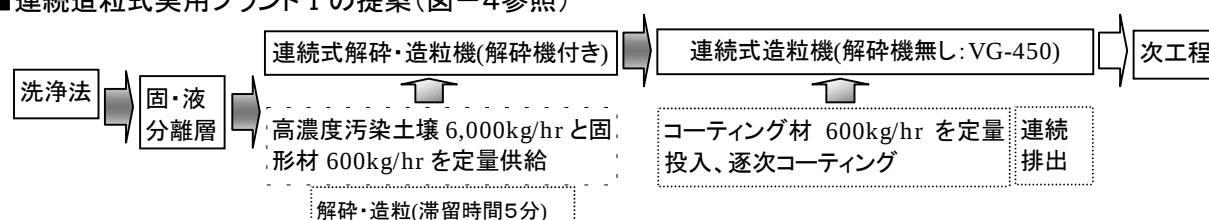
B) 実用プラントの提案

上述の結果を踏まえて以下に示す実用化システムを提案した。なお、実用プラントの設計上の前提条件は、解砕・造粒機の稼働時間を 8 時間/日および汚染土壌処理能力は 48m³/日を前提条件とした。

■ バッチ式実用プラントの提案 (図-3参照)



■ 連続造粒式実用プラント I の提案 (図-4参照)



■ 連続造粒式実用プラント II の提案 (図-5参照)

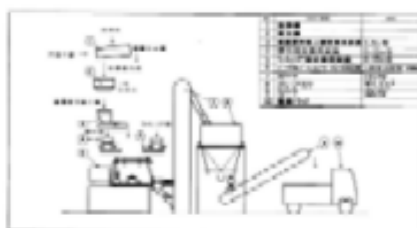
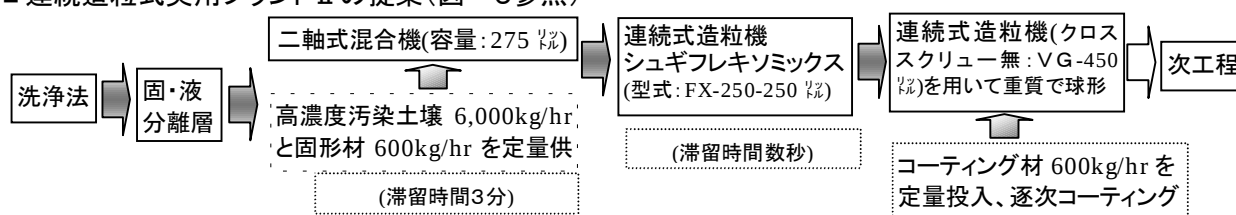


図-3 バッチ式

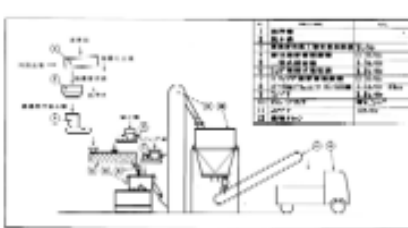


図-4 連続式 I

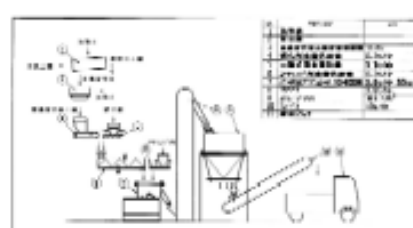


図-5 連続式 II

4. まとめ

■ 成果

a)製造能力 45m³/日以上、製造コスト 10,000 円/ m³ 以下および連続造粒が可能な実用プラントの提案について、何れも当初の目標を 100%以上達成できた。b)本工法で固化・不溶化すれば、環境基準の 10 倍～2000 倍程度の含有量であれば、溶出量を環境基準以下に安定処理できる。c)本工法で処理を行った造粒物の長期安定性がカラム法で確認できた(継続中)。および d)実用化レベルでシステムが提案できた。

■ 今後の廃棄物事業に与える影響

循環型社会を支える技術として①環境汚染の修復、②廃棄物の減容化に貢献できる。また原位置での処理がより可能になるため、管理型処分場の不足や、そこから発生する二次汚染の防止に貢献できる。

■ 新たな課題

a)実用レベルのシステムによる性能と処理能力の確認、b)造粒物の利用法(コンクリート骨材への適用性など) c)処理剤の性能向上、および d)長期安定性の評価方法の提案、を今後の研究課題とする。