

焼却灰のセメント固化処理技術

中村常蔵¹・稲垣明雄²・関野英男³

¹技術士 株式会社環境工学コンサルタント 九州支社（〒812-0011 福岡市博多区博多駅前1-9-3）

²大日本土木株式会社 名古屋支店（〒460-8412 愛知県名古屋市中区栄1-7-33）

³工修 技術士 大日本土木株式会社 技術研究所（〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山1-1-1）

全国の一般廃棄物最終処分場施設の多くが「遮水工又は浸出液処理設備が設置されていない」不適切な状態にあり、厚生省はこうした不適切な状態にある一般廃棄物最終処分場に対し、周辺地下水の調査などを市町村に指示すると共に、適正化するように指導を行っている。しかし、不適正処分場の適正化工事は、施工中の環境への影響や施工コストが高いことが大きな課題になっており、適正化に踏み切れない自治体が多いのが現状である。著者等は、このような状況を踏まえて、最適な適正化方法を選択することを目的としたシステムの開発を進めている。ここでは、有害物質すべてをセメント固化して、有害物質が溶出しないように適正化する全国初の方法を選定したパイロット的な適正化工事の報告を中心に、適正化のための技術についてまとめた。

キーワード：不適正処分場、セメント固化処理、焼却灰

1. はじめに

厚生省が1997年に全国1901施設の一般廃棄物最終処分場（以後、最終処分場と称す）を対象に環境調査を実施した結果¹⁾、不適正処分場として538施設が指導を受けた。当該最終処分場も昭和46年より27年間、焼却灰を無処理の状態で埋め立てていたため、その対象となり、平成10年の処分地内での水質調査においてダイオキシン類が検出された。そのため、都城北諸県広域市町村圏事務組合は、最終処分場の埋立ごみを、環境保全、施工性、経済性を十分考慮して、「土壌掘削工法」と「ソイルセメントコラム工法」の併用型工法により適正化する事にした²⁾。

本報告は、当該最終処分場へ適用した適正化方法が良好であった「灰埋立処分地適正閉鎖整備工事」を主として、適正化工法や比較検討の内容、配合試験、施工概要、品質管理結果等について記するものである。

2. 工事概要

(1) 工事概要

工事名：灰埋立処分地適正閉鎖整備工事

発注者：都城北諸県広域市町村圏事務組合

施工場所：宮崎県都城市郡元町地内

工期：1999年10月5日～2000年3月15日

工事概要：

最終処分場やダイオキシン等による環境汚染が社会的に注目を集めているなか、都城市においても長年、清掃工場が廃棄してきた焼却灰を適正に処理するため本工事を発注することとなった。約7万m³ある焼却灰の約3万m³を、平成11年に完成した市の最終処分場（管理型）に外搬出し、残りの約4万m³についてはソイルセメントコラム工法により改良柱体としてダイオキシン等の有害物質ごと封じ込め、将来的に周囲の環境に害を及ぼさないようにする工事である。

a) 本工事

埋立灰除去工事	32,352m ³
ソイルセメントコラム工事	11,663本

表層被覆工事

・覆土工（埋立灰除去時）	4,021m ³
・リフトメントコンクリート被覆工	1,239.14m ³
・最終覆土工	10,552m ³
・法面保護工	772m ²
・コラム発生土敷均し	3,733m ³
雨水排水工事	
・外周水路布設工	389.70m
・柵布設工	5 箇所
・暗渠排水布設工	467.00m
モニタリング井戸工事	1 箇所
室内試験（溶出試験・透水試験）	3 6 試料

(2) 工事位置

本処分場は、宮崎県都城市郡元地内の清掃工場の西約500mの所に位置し、一級河川水系沖水川の左岸堤防沿いの後背平地帯にあり、流域一帯は平坦な水田地帯となっている。埋立処分地面積は、約1.3haである。（図 - 参照）



図 - 1 本処分場の位置図

(3) 地盤状況

a) 地盤構成と水文特性

図 - 1 に示す埋立敷地内の3地点（No.1、No.2、No.3）において、ボーリング調査、地下水位調査、透水試験調査を行い、敷地全体の地盤構成を推定した結果を図 - 2 と表 - 1 に示す。埋立ごみ層の下には透

水性の高い砂礫層とシラス層が分布し、その下層には不透水層の存在は無い。

地下水の挙動は、現場透水試験と地下水流速流向測定から推定した結果、砂礫層とシラス層ともに透水係数は 1×10^{-3} cm/sec 程度で高い値であるが、平常期における地下水流速は、若干、河川へ引き込まれる傾向にあるものの、ほとんど動きがない状態にある。

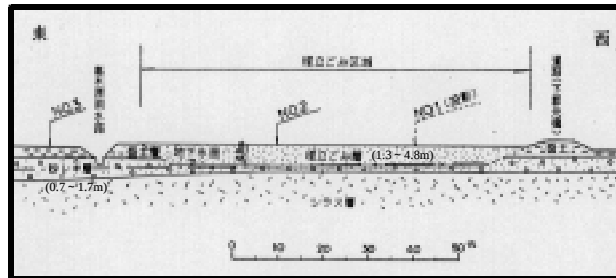


図 - 2 縦断面図

表 - 1 地盤特性

地層名	地層厚	N 値	土質性状
埋立ごみ層	1.3m ~ 4.8m	2 ~ 4	飛灰・焼却灰の混合灰主体 少量のガラス片・金属片混入 ダイオキシン1,600pg-TEQ/g
砂礫層	0.7m ~ 1.7m	4 ~ 21	φ2 ~ 50mmの角礫が多い透水層 礫間は細～中砂 ダイオキシン1.1pg-TEQ/g
シラス層	以深	15 ~ 30	0-4を含むφ2 ~ 30mmの軽石混入 透水係数 (1×10^{-3} cm/sec程度) ダイオキシン0.71pg-TEQ/g

b) 埋立ごみ

埋立ごみの組成を表 - 1 に示す。埋立ごみのほとんどは焼却灰であり、若干部分的に生ゴミや不燃物等が含まれている。焼却灰は熱灼減量は低く、燃焼状態が良好な灰と考えられる。凝結している焼却灰は、ハンマ - で叩くとくずれるものの軟岩程度の堅さにある。

土壌のダイオキシン分析結果

埋立ごみ	: 1,600 pg-TEQ/g
シラス層区域内	: 1.1 pg-TEQ/g
シラス層区域外	: 0.71 pg-TEQ/g

地下水のダイオキシン分析結果

No.1孔（滞留地点）	: 19.0pg-TEQ/g
No.2孔（微少流動地点）	: 1.6pg-TEQ/g
No.3孔（微少流動地点）	: 2.5pg-TEQ/g
（排水のダイオキシン基準）	: 10.0pg-TEQ/g

表 - 2 埋立ごみの組成

項目	単位	計量結果
可燃物	%	3.4
大型不燃物(>10mm)	%	14.4
灰分(<10mm)	%	56.7
水分	%	25.5
鉄分	%	2.2
大形不燃物除去後の熱灼減量	乾%	5.59
焼却残渣の熱灼減量	乾%	4.51

3. 工法の比較検討

埋立地を適正化するための工法として、以下の～の5工法を選定し、比較検討を行った³⁾。

環境保全性(工法自体の安全性、工事中の浸出水処理)、施工性、経済性を考慮した結果、埋立層の上層を掘削して、新規の最終処分場へ搬出する「土壌掘削工法」と、埋立層の下層を固化し囲い壁を同時形成する「ソイルセメントコラム工法」の併用工法が、最も現地に適していると判断した。

土壌掘削工法

バリア井戸工法

地下連続壁工法

鉛直遮水シート工法

ソイルセメントコラム工法

(土壌掘削工法)

埋立ごみを掘削し、積み込み、新規最終処分場へ搬出する工法で、埋立ごみ層が比較的浅く狭い範囲に存在している場合に有効である。最も簡易で工期も短い。施工時の周辺環境への影響や浸出水の処理問題がある。

(ソイルセメントコラム工法)

セメント固化材を混入して現地土とともに攪拌して固化する工法であり、改良しながら施工が進むので遮水性のある連続体が形成されるとともに、工事中の埋立ごみ層及び浸出水の拡散も防止でき、且つ低騒音で低振動工法である。

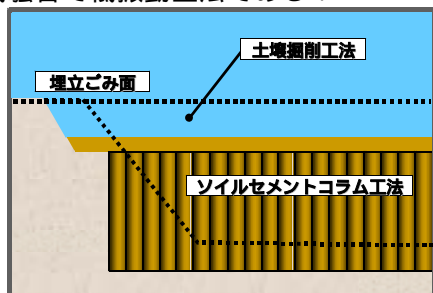


図 - 3 採用工法

4. 室内配合試験

(1) 試験方法

埋立ごみ(焼却灰)に含まれる有害物質を不溶化させるため、焼却灰をセメント固化処理する方法を選定した。室内配合試験は、このセメント固化処理するための、焼却灰に混合するセメント系固化材の種類と添加量を決定することを目的としている。試験項目は、強度、透水性、溶出性の3項目であり、それぞれの判定基準を以下のように設定した。

a) 改良地盤の強度

環境庁告示「金属等を含む廃棄物の固型化に関する基準」で埋立処分の場合、一軸圧縮強度は1,000kN/m²以上(添加量150kg/m³)と定められており、現場で発生する強度を考慮して室内所要強度を5,000kN/m²以上とした。

b) 改良地盤の透水性

「共同命令」の薬剤等の注入による固化条件及び不透水性地層に關しての透水係数基準に準拠して、1μ²/wもしくは1×10⁻⁵cm/sec以下とした。

c) 改良地盤の溶出性

土壌の汚染に係わる環境基準を参考として、カドミウムと鉛、砒素、セレンを0.01mg/Lとし、六価クロムを0.05mg/L、総水銀を0.0005mg/L以下に設定した。ダイオキシンに關する基準は、排水に係わる排水基準10pg-TEQ/Lであるが、配合試験時には溶出しなことを原則とした。

(2) 配合試験結果

配合試験に使用した固化材は、通常市販されている固化材A、固化材B、固化材Cの3種類を選定した。

a) 一軸圧縮強度

図-4に、焼却灰と各固化材を混合した供試体の一軸圧縮強度と固化材配合量の関係を示す。図より固化材Aと固化材Cが、共に配合量150kg/m³で一軸圧縮強度5,000kN/m²以上の基準を満足していることが分かる。また、その強度特性は、配合量200kg/m³以上において、固化材Cの方が優位となる傾向にある。

b) 透水係数

図-5に、各土質と各固化材を混合した供試体の透水係数と固化材配合量の関係を示す。図より焼却灰に關しては、全固化材とも基準値を満足しているものの、固化材Bはシラスを対象にした場合、

基準値を満足できない傾向にある。

c) 溶出試験

重金属 6 項目に関しては、どの固化材を使用しても不溶出であり、基準値を満足していた。ダイオキシンについての溶出量を図 - 6 に示す。図より、固化材 C を使用した場合、配合量 200kg/m³ 以上においてダイオキシンは溶出しないことが伺われる。

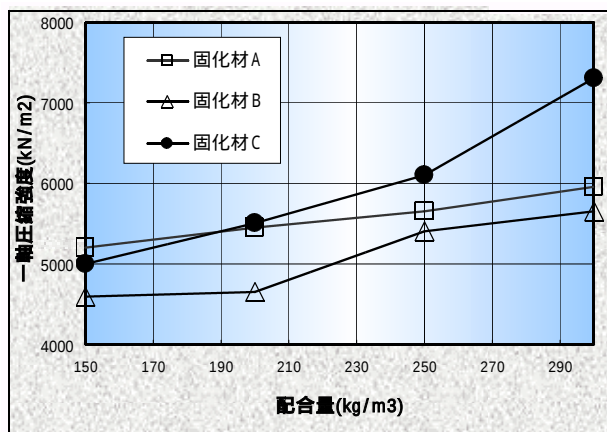


図 - 4 一軸圧縮強度 ~ 配合量関係

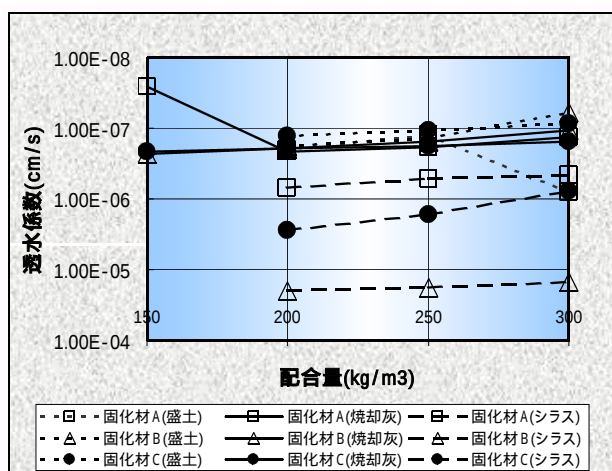


図 - 5 透水係数 ~ 配合量関係

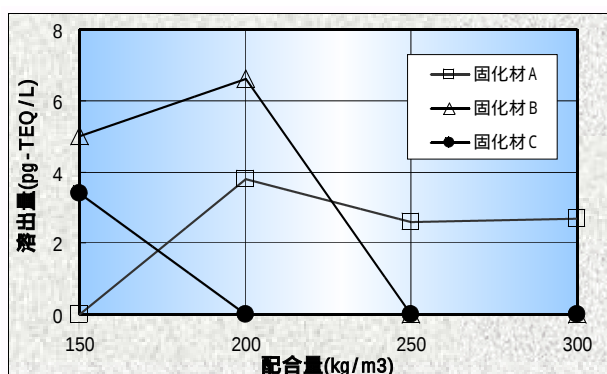


図 - 6 溶出量 ~ 配合量関係

(3) 総合評価

配合試験の結果、固化材 C が、強度、遮水性、溶出抑制力において最もその性能が優れていると評価した。また、配合量に関しては 230kg/m³ とした。

5. 施工概要

(1) 適正化施工の概要

施工方法は、地下水面の上昇の影響がない埋立ごみ層上層部 2 m 程度を、掘削 ~ 積込 ~ 運搬 ~ 最終処分し、その後、ソイルセメントコラムの単独工法によって外周遮水壁、埋立ごみ層の固化、底盤改良を全て行う「土壌掘削工法」+「ソイルセメントコラム工法」の併用工法であり、最終的に周辺の農地高に調和させる。ソイルセメントコラム工法は、セメント固化材を混入して現地土とともに攪拌して固化する工法であり、改良しながら施工が進むので遮水性のある連続体が形成されるとともに、工事中の埋立ごみ層及び浸出水の拡散も防止でき、且つ低騒音・低振動工法である。また、遮水性についてはごみ層自体の固化と囲い壁の構築より二重の効果期待できる。

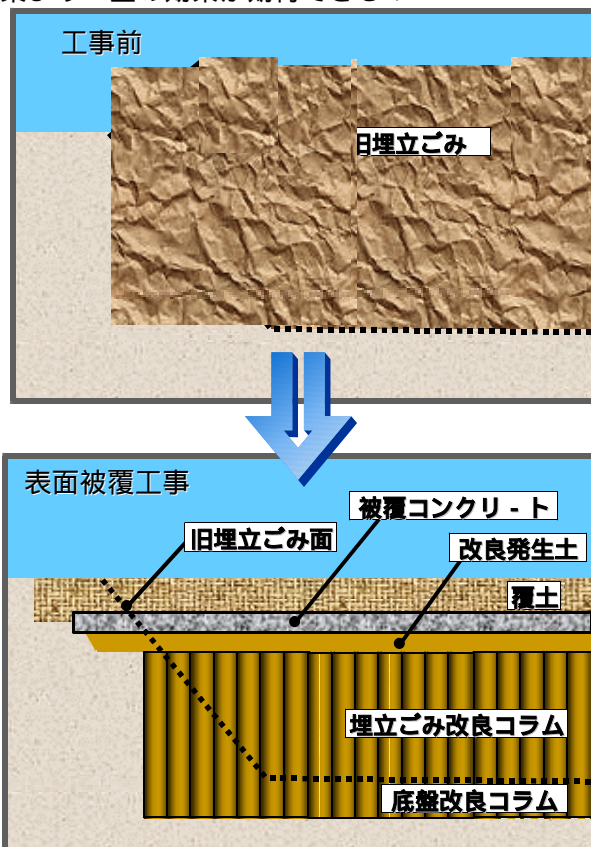


図 - 7 改良構造図

(2) 施工方法

a) 埋立灰除去工事

原地盤より約 2 m の深度まで 0.7m³ のバックホ - で掘削整形し、市の指導（住民の強い要望の為）の密閉式箱形ダンプトラック（15t, 10t）により、焼却灰の飛散に細心の注意を払い、新規処分場へ運搬した。工事に伴う焼却灰の飛散は、灰が適度に湿潤状態であったため、散水程度の対策で十分対処できた。また、清掃工場でダイオキシン・粉塵対策に石灰を添加していることもあり、灰が固化している箇所があったため、掘削に多少困難さがあった。

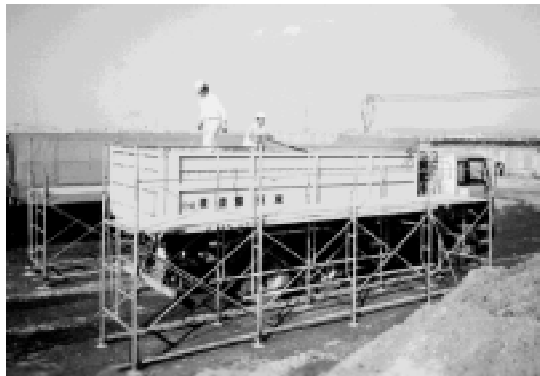


写真 - 1 密閉式箱形ダンプトラック

b) ソイルセメントコラム工事

埋立敷地を図 - 8 に示すように 10 ブロックに分割して、ブロック毎に施工を行った。

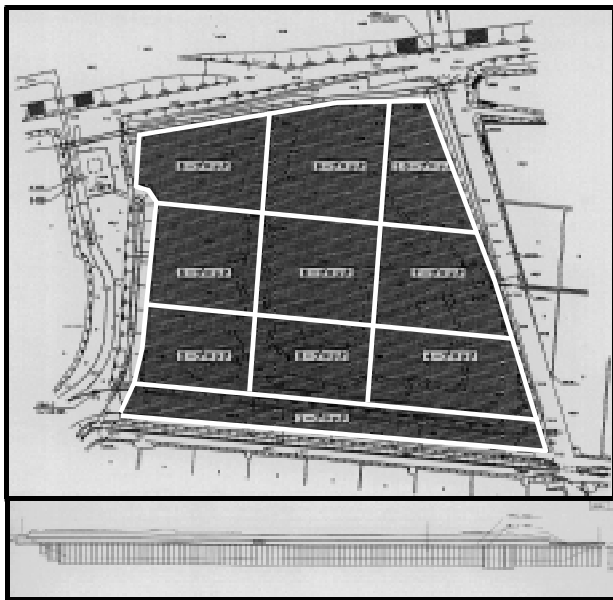


図 - 8 ブロック分割図

施工機械の概要

施工機械は、写真 - 2 に示すア - スオ - ガ - 付クロ - ラ - 3 点式 DHP-80 を最大 3 機使用して施工した。工法の概要は、スラリ - 状のセメント系固化材を地盤に注入しながら、共回り防止翼を装着

した攪拌装置を用いて、1 set 2 軸で原地盤土と機械的攪拌し、固化材の化学的反応により所要の強度を持つ改良柱体を構築するものである。改良柱体は、隙間が生じないようにラップすることで全面改良するようにした。



写真 - 2 施工機械

使用固化材の仕様

- ・固化材料：セメント系固化材
「ユ - スタビラ - 10」
(宇部三菱セメント)
- ・配合 : 水固化材比 W / C = 80 %

表 - 3 配合表

水固化材比 (%)	80
固化材 (kg)	886
水 (kg)	709
スラリ - 量 (m ³)	1

施工管理

実施工時での改良地盤の深度は、砂礫層の通過によるコラムの回転負荷の上昇（電気抵抗が極端に上昇）した深度とし、その深度より 1 m 混合して終了した。コラムの位置や鉛直精度、混合速度の施工管理は、機械に内蔵されている計測機器で測定し、常時、地盤改良計測装置を計測ハウスに設置して管理した。

c) 表層被覆工事

被覆工は、厚さ 10cm でコラム上にさらに遮水層を設置する目的で施工するもので、コンクリート

(230-18-25)を人力にて打設し、さらに購入土のシラスを21tブルド - ザ - にて転圧して整地し、最終覆土を行った。

6. セメントコラムの品質確認試験結果

(1) 試験内容

改良土の品質管理のための試験内容を表 - 4 に示す。施工時には各ブロックのコラム天端より1.5mの深さより試料を採取し、一軸圧縮強度と、水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、セレン、ダイオキシンの7項目についての溶出試験と、透水試験を行った。完了時にはソイルセメント杭のボ - リングコアより供試体を採取し、水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、セレン、ダイオキシンの7項目についての溶出試験と、透水試験を行った。特に、一軸圧縮強度の品質管理の頻度は、1回 / 1日行うことになった。

表 - 4 品質管理項目

工程	試験項目	規格値 土壌汚染に係わる環境基準値	試験基準	管理方法
溶出試験	水銀	検液1ℓにつき0.0005mg以下	試験杭(4本)灰	分析結果報告書
	カドミウム	検液1ℓにつき0.01mg以下	本施工(10本)灰	
	鉛	検液1ℓにつき0.01mg以下	完了時(2本)灰	
	六価クロム	検液1ℓにつき0.05mg以下		
	砒素	検液1ℓにつき0.01mg以下		
	セレン	検液1ℓにつき0.01mg以下		
	ダイオキシン	再生資材評価方法による		
強度試験	土の一軸圧縮試験(JISA1216)	各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の95%以上。1回の試験結果は改良地盤設計強度以上。尚、1回の試験とは3個の供試体試験値の平均値	試験杭(4本)灰 本施工(1本/1日)灰 完了時(2本)灰	試験成績表
透水試験	土の透水試験(JISA1218)	監督員の指示による ($k=1 \times 10^{-7}$ cm/sec)	試験杭(4本)灰 (4本)灰 本施工(10本)灰 完了時(2本)灰	試験成績表

(2) 試験結果

各種試験用の供試体の採取は、コラム打設後、直ちに試料土採取用特殊装置にて、所定の深度より未固結のソイルセメントを採取し、一軸圧縮及び透水試験用にφ50mmの塩ビパイプ、有害物質溶出試験用にφ125mmのテストピ - スに詰め、供試体を作成した。試験結果は、表 - 5に示すように全ての項目に対して環境基準値を十分満たしており、ソイルセメントコラム工法によるセメント固化した焼却灰の安全性が確認された。

表 - 5 試験結果総括表

	採取ブロック	採取日	一軸圧縮強度	ダイオキシン	重金属	透水係数
施	1	2000/01/14	7,770kN/m ²	1.2000pg - TEQ/L	定量限界以下	1.79E - 07cm/s
	2	1999/12/13	7,370kN/m ²	0.0023pg - TEQ/L	定量限界以下	2.01E - 07cm/s
	3	1999/12/20	7,980kN/m ²	0.0023pg - TEQ/L	定量限界以下	1.52E - 07cm/s
	4	2000/02/01	7,100kN/m ²	0.0000pg - TEQ/L	定量限界以下	1.75E - 07cm/s
工	5	1999/12/13	4,380kN/m ²	1.5000pg - TEQ/L	定量限界以下	1.55E - 07cm/s
	6	1999/12/20	7,560kN/m ²	0.0027pg - TEQ/L	定量限界以下	5.83E - 07cm/s
	7	2000/01/14	8,950kN/m ²	0.0590pg - TEQ/L	定量限界以下	1.54E - 07cm/s
	8	1999/12/13	4,230kN/m ²	0.0000pg - TEQ/L	定量限界以下	2.10E - 07cm/s
時	9	1999/12/20	7,330kN/m ²	0.0030pg - TEQ/L	定量限界以下	1.75E - 07cm/s
	10	2000/01/14	8,160kN/m ²	0.0022pg - TEQ/L	定量限界以下	1.96E - 07cm/s
竣	3	2000/03/28		0.0021pg - TEQ/L	定量限界以下	9.55E - 08cm/s
	9	2000/03/28		0.0000pg - TEQ/L	定量限界以下	6.94E - 08cm/s
工	基準値		1,000kN/m ²	10.0000pg - TEQ/L	各基準値	1.00E - 05cm/s

7. まとめ

全国初の不適正処分場をセメント固化する工事であることもあり、施工時には戸惑うことがかなりあった。特に、実際の灰の層厚にかなりの起伏があり、設計数量と異なることに対する対処方法に苦労を要した。今後、不適正処分場の適正化に本工法を適用する際には、事前調査からの地質構成の検討を十分に行わないと、大きな設計変更となるため、留意事項として考慮する必要がある。

また、全国に残されている不適正処分場を適正化するための工法として、さらなるコスト削減の企画が出来るように工法の開発を進めるべきと考える。

「環境の世紀」と言われている21世紀を目前に、この事業の完了により、圏域住民の健康で快適、そして安全な生活環境の確立が図られ、都城圏域住民が目指す「快適で住みよい緑豊かな圏域の創出」に大きく寄与できたと考えています。最後に、この灰埋立処分場適正閉鎖整備工事に際し、ご理解とご協力を頂きました地域住民の方々を初め関係者の皆様に対し、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 厚生省水道環境部環境整備課：一般廃棄物最終処分場の適正化調査結果について
- 2) 前田、中村、藤野、坪水、稲垣、関野：焼却灰のセメント固化処理、第11回産業廃棄物学会研究発表会、2000
- 3) 都城北諸県広域市町村圏事務組合、環境工学コンサルタント：灰埋立処分場環境調査委託報告書