

## 鉛を含むブラスト廃材の鉛溶出抑制処理技術

迫田 治行<sup>1)</sup> 丹波 寛夫<sup>2)</sup>

○濱崎 有也<sup>3)</sup>

多久和 公二<sup>4)</sup> 河原 淳人<sup>5)</sup>

### 1 はじめに

高度成長期に数多く建設された鋼製橋梁や鋼製橋脚は、一斉に塗装の塗替え時期を迎えており、今後は塗替え工事が多くなることが予想されます。塗替塗装を行うことは、景観面もさることながら、橋梁の長寿命化に必要不可欠であり、中でも素地調整は長寿命化への重要な工程の一つに位置づけられると考えます。塗替え時における素地調整はブラスト工法を用いた素地調整（素地調整程度 1 種）が望ましいが、ブラストを実施する場合、剥離した塗膜片を含む大量の使用済み研削材の産業廃棄物処理が課題です。特に下塗に鉛系さび止めを用いた旧 A・B 塗装系の塗膜をブラストした場合、飛散した塗料片から鉛が自然界に溶出することで、環境に及ぼす影響は甚大となります。したがって鉛の濃度にもよりますが一般的には通常の産業廃棄物（以下、通常産廃と記す）としてではなく、特別管理産業廃棄物（以下、特管産廃と記す）として処理しなければなりません。今後山場を迎えようとしている塗替え予定橋梁は、7～8割が A 塗装系で新設された履歴を有すると考えられるため、ブラスト作業に付随するこの課題は真剣に取り組まなければなりません。

産業廃棄物における鉛の溶出基準は、『金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令』<sup>1)</sup>において 0.3mg/L 以下と定められています。この値は、『排水基準を定める省令』<sup>2)</sup>での基準値の 3 倍となっていますが、これは埋立処分が人為的汚染区域の把握および管理が容易な場合が多いこと、さらには土壤に吸着されることを考慮したものであるとされています<sup>3)</sup>。鉛溶出試験の結果がこの基準値を上回る場合は通常産廃としてではなく、特管産廃として処理する必要がありますが、処理場が限られることや処分費が上昇するなどから安易に考えることはできません。

現在、特管産廃は専門の運搬業者と処理業者に委託して最終処理をしていますが、その処分費用は、塗替え塗装工事において大きなウェイトを占めています。そこで、このような課題を克服するために、今回、塗替え現場において、ブラスト廃材に混入した塗料片からの鉛溶出を抑制することで、特管産廃を通常産廃レベルに特殊処理する工法について検討しましたので概要を報告します。

---

1), 2) (一財) 阪神高速道路技術センター 企画研究部

3) 山川産業株式会社 技術・開発室 〒660-0805 尼崎市西長洲町 1-3-27

4), 5) 山川産業株式会社 ブラスト販売チーム 〒273-0025 船橋市印内町 595-1 NST 第 2 ビル 2F

## 2 検討した鉛溶出抑制処理技術の概要

### 2.1 鉛溶出抑制処理の工法化への留意点

塗替え時に排出されるブラスト廃材の鉛溶出抑制技術の検討・開発にあたっては下記の4点に留意しました。

(1) ブラスト工事現場で溶出抑制処理が簡単に行えること。

これにより、現場から搬出する時点で通常産廃として扱うことが可能となります。

また、処理に要する場所も大がかりとならないよう工夫しました。

(2) 熟練や技能が求められない簡便な工法とすること。

特殊な機械を必要とせず、また普通の作業員で行えるものとし、施工ロット間にバラツキがなく、ロット内にムラが生じないものとする。

(3) 鉛の溶出量を確実に低減させる条件を明確にすること。

鉛溶出量はブラスト工事現場から発生するブラスト廃材ごとに異なるため、確実に鉛溶出抑制が可能な条件を設定する必要があります。すなわち、どのようなブラスト廃材であっても、確実に鉛の溶出を基準値以下に抑制できること。

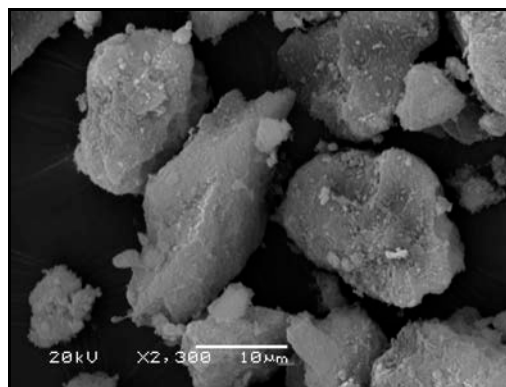
(4) 特管産廃として処理するよりも処理費用が安価となること

### 2.2 検討した鉛溶出抑制方法

鉛溶出抑制方法には種々の方法がありますが、ここでは、不溶化剤を用いる方法を検討しました。すなわち、現場でブラスト廃材と不溶化剤とを物理的に短時間混合するだけで、鉛溶出抑制を図ることができるものとししました。鉛溶出抑制には、不溶化剤を加えることで鉛を、硫酸鉛、酸化鉛、炭酸鉛、水酸化鉛、硫化鉛などに変換する方法がありますが、ここでは最終的に埋め立て処分したとしても、化学的に安定で水に難溶性である水酸化鉛に変換する方法を採用しました。使用する不溶化剤は、天然のゼオライトを主原料とした黄淡色を呈する粒径0.25mm以下の粉末です(写真—2.1, 写真—2.2)。粒径を細かくし、比表面積を増やすことで鉛溶出抑制効果(反応性)を高めています。



写真—2.1 不溶化剤外観



写真—2.2 不溶化剤のSEM像

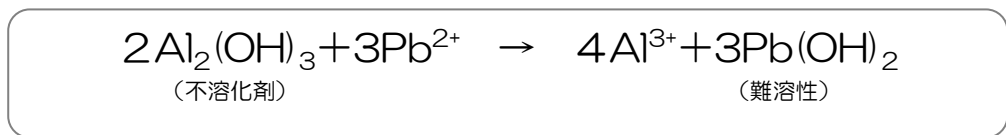
また、塗替え現場では大量のブラスト廃材を処理する必要があるため、不溶化剤との混合方法としては、混合ムラが無く、作業性に優れたバッチミキサー（攪拌機）方式を採用することにしました。これにより、技能を有さずとも容易かつ確実に鉛溶出抑制処理ができます。攪拌機は専用のもので製作し、作業が安全に、また簡単に行えるようにしました。また、ブラスト廃材と不溶化剤の混合効率を高めるためと、攪拌時の粉じん飛散防止のために攪拌時に少量の水を加えることにしました。

### 2.3 不溶化剤による鉛溶出抑制のメカニズム

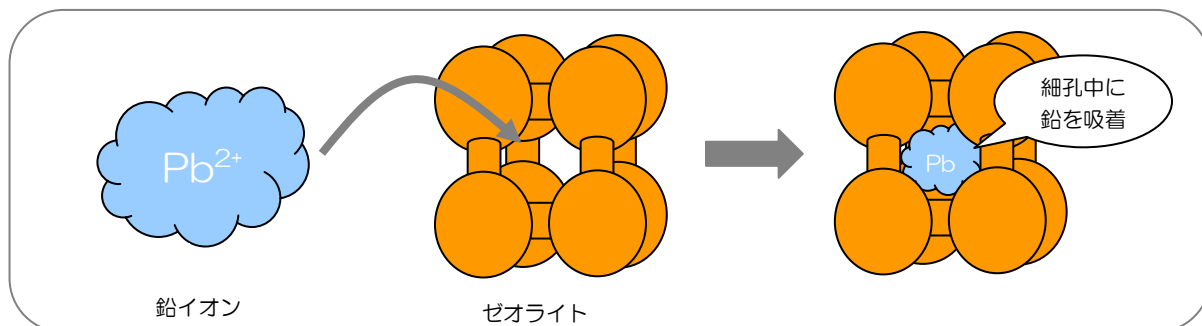
不溶化剤による鉛溶出抑制は、主に水酸化物化と吸着の二つの効果から成ります。水酸化物化では、不溶化剤に含まれる水酸化アルミニウムと、溶出性の鉛イオンが反応し、難溶性で安定性の高い水酸化鉛を形成させることで鉛の溶出を抑制するものです（**図—2.1**）。

吸着では、ゼオライトの持つ 0.6nm (6.0×10<sup>-10</sup>m) 程の細孔に、溶出した鉛を閉じこめることで溶出が抑制されます（**図—2.2**）。

また、両性元素である鉛は酸・アルカリとの接触により溶出するため、塗膜の pH の状態や pH の変化によっては、鉛溶出抑制不良や再溶出の恐れがあります。そこで pH を中性に保てるよう不溶化剤に中和剤を配合し、塗膜の状態や保存状態に係らず安定して鉛溶出抑制処理と保管ができるようにした結果、抑制効果が強化されました。



図—2.1 水酸化物化による鉛溶出抑制のメカニズム（化学式）



図—2.2 吸着による鉛溶出抑制のメカニズム（イメージ）

### 3 試験室での確認試験結果

開発にあたり、まず試験室で当該方法の基本的な鉛抑制効果を確認しました。

#### 3.1 鉛溶出抑制の効果確認

本工法の開発にあたり、それぞれ異なるブラスト工事の現場で発生したブラスト廃材を少量用いて効果確認試験を行いました。テーブル試験にて、試料 100g に対して、不溶化剤 0.5g (=0.5wt%対試料) をポリ袋に入れてよく混ぜ、鉛溶出抑制の効果を確認しました。

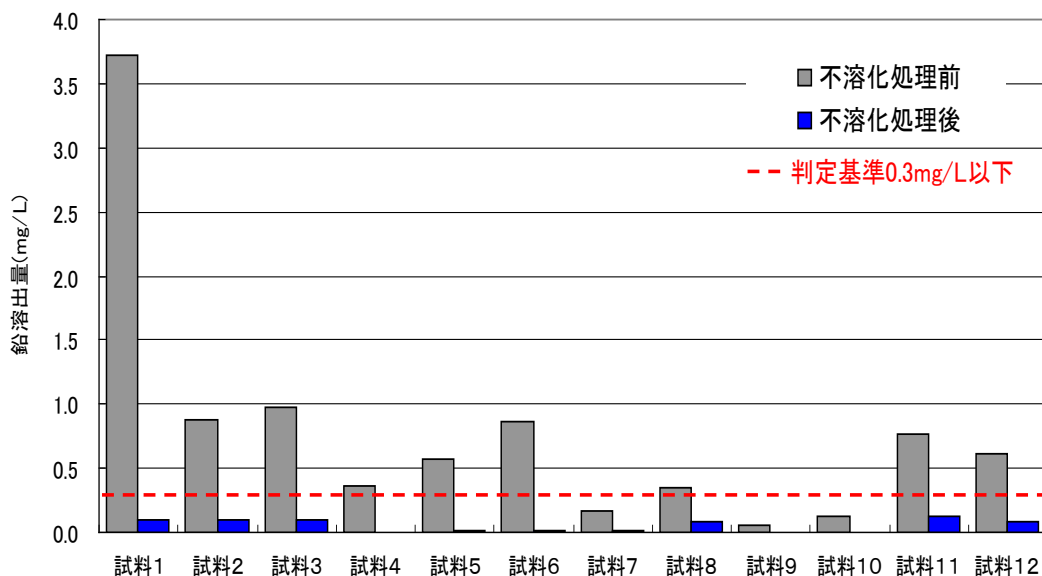
表—3.1 および図—3.1 に全国の 12 現場から採取した廃材に対する鉛溶出試験結果を示します。試料によっては、元々から特管産廃の判定基準を下回っていたものもありましたが、いずれの試料も不溶化剤によって鉛溶出が大幅に抑制されることが確認されました。

なお、抑制の度合いには試料によってバラつきが見られましたが、これは、塗膜片の劣化状態や、大きさなどが起因しているものと思われます。

表—3.1 鉛溶出抑制処理による鉛溶出抑制効果の確認試験結果

	試料											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
処理前	3.72	0.88	0.98	0.36	0.57	0.86	0.17	0.35	0.05	0.13	0.76	0.61
処理後	0.10	0.10	0.10	0.01 $\geq$	0.02	0.01	0.02	0.09	0.01 $\geq$	0.01 $\geq$	0.12	0.08

注) 赤太字の数値は特管産廃扱いとなるもの。



図—3.1 鉛溶出抑制処理による鉛溶出抑制効果の確認試験結果

### 3.2 鉛溶出抑制効果の安定性

不溶化剤による鉛溶出抑制効果と同様に、抑制効果に安定性があることも重要です。しかし、実際に管理型最終処分場に埋め立てられた後の鉛溶出抑制効果の持続性を確認することは困難です。そこで、鉛溶出抑制効果の持続性を【社団法人 土壤環境センター：重金属不溶化処理土壌の pH の安定性の相対的評価方法】<sup>4)</sup>に準じて評価し確認しました。

この評価方法では、100 年間 pH4.0 の酸性雨に曝された状態を想定した「硫酸添加溶出試験」と、コンクリート構造物が構築されて pH11.9 のアルカリに曝された状態を想定した「消石灰添加試験」を行うことで、厳しい環境下における鉛溶出抑制効果の持続性が確認できるとされています。試料はブランクとして鉛溶出のない砂 100g に 1g/L の鉛標準液を 1g 添加したもの(鉛溶出量 1mg/L)、そして実際のブラスト廃材 2 点(鉛溶出量 0.76mg/L, 0.61 mg/L) を供試し評価しました。

**表—3・2** に試験結果を示します。いずれの試料も処理前では廃棄物判定基準 (0.3mg/L) よりもかなり高い値でしたが、鉛溶出抑制処理によって溶出量は判定基準以下になったことが判ります。また硫酸添加溶出と消石灰添加溶出のどちらにおいても判定基準以下の溶出量であり、過酷な環境下においても、不溶化剤の効果は維持されているものと評価できます。

**表—3.2 各状態における鉛溶出量測定値 (mg/L)**

	ブランク	ブラスト廃材	
		サンプル①	サンプル②
処理無し	1.00	0.76	0.61
鉛溶出抑制処理後	0.1 $\geq$	0.1 $\geq$	0.1 $\geq$
鉛溶出抑制処理後 (硫酸添加溶出)	0.12	0.14	0.1 $\geq$
鉛溶出抑制処理後 (消石灰添加溶出)	0.1 $\geq$	0.1 $\geq$	0.1 $\geq$

## 4 現場での確認試験結果

試験室で鉛溶出抑制効果が確認できたので、つぎに実際の塗替工事の現場でブラスト廃材の一部を用いて、鉛溶出抑制処理を行いました。この場合の着目点は、①大量のブラスト廃材でも鉛溶出抑制が可能であるか、②攪拌機での作業効率はどの程度であるか、などです。

### 4.1 試験対象

2012年9月11日に阪神高速道路5号湾岸線 甲子園浜の路下（兵庫県西宮市甲子園浜1丁目）にて試験を実施しました。表—4.1に試験でブラスト処理された橋梁の旧塗装仕様を示します。本橋は1992年新設架橋から塗替え履歴はありません。

当該橋梁の外観を写真—4.1に、塗膜の劣化状況を写真—4.2に示す。

表—4.1 旧塗装系（鉛系さび止め—塩化ゴム系）

	塗料	設計膜厚（ $\mu\text{m}$ ）	備考
第1層	鉛系さび止めペイント	35	—
第2層	鉛系さび止めペイント	35	—
第3層	フェノールMIO	45	—
第4層	塩化ゴム系中塗	35	—
第5層	塩化ゴム系上塗	30	—
（増塗り）	鉛系さび止めペイント	35	ボルト部と主桁下フランジ下面



写真—4.1 橋梁の外観  
写真は塗替え塗装後の状態



写真—4.2 ブラスト前の桁の塗膜状況  
ウェブおよび下フランジ上面

## 4.2 ブラスト廃材 について

塗替え工事から発生したブラスト廃材の鉛溶出量分析結果は 0.64mg/L で、産業廃棄物の判定基準（鉛溶出量 0.3mg/L 以下）を超過しており、特管産廃として扱われるべきレベルでした。なおブラスト作業で用いた研削材はフェロニッケルスラグ（製品名ネオブラスト）ですが、研削材自体から鉛の溶出はないことを事前に確認してあります。一方で、旧塗膜の第 1 層および 2 層は鉛系さび止めペイントであり、この塗料片から鉛が溶出したものと判断されます。

## 4.3 準備した機材および作業条件

現場で行った、鉛溶出抑制処理に関する基礎データは以下のとおりです。

ブラスト廃材・・・250kg

不溶化剤・・・・・・2.5kg（添加量 1.0wt%）

水・・・・・・・・・7.5kg（添加量 3.0wt%）

攪拌機・・・・・・・・・1 台（W1760×D1160×H1080mm）

発電機（200V 用）・1 台（W790×D1550×H1000mm）

作業員・・・・・・・・・1 名（20 代後半男性）

作業スペースは攪拌機前の 2m×2m 程度で作業可能でした。

## 4.4 作業内容および作業時間

表—4.2 に鉛溶出抑制作業内容と作業時間を示します。この結果より作業効率として 1 t/h のペースで鉛溶出抑制処理が可能であることを把握しました。

表—4.2 鉛溶出抑制作業内容および時間

作業内容	経過時間（分）	備考
廃材投入開始	0' 00"	予め 25kg に小分けした土のう袋で投入 全量を投入後、約 10 秒間攪拌してならした
廃材投入終了	3' 27"	
不溶化剤投入	3' 46"	攪拌機の蓋の小窓から投入
水投入	4' 46"	攪拌機の蓋の小窓から投入
本攪拌	5' 05"	1分間攪拌
廃材排出開始	6' 06"	18L ペール管で受けて、随時排出
廃材排出完了	11' 36"	ブラスト廃材 250kg 分の鉛溶出抑制処理完了



#### 4.5 作業状況写真

現場での不溶化の作業状況を、写真 - 4.3～写真 - 4.10 に示します。



写真—4.3 プラスト廃材



写真—4.4 袋に小分けした廃材



写真—4.5 不溶化処理用攪拌機



写真—4.6 廃材投入中



写真—4.7 不溶化剤投入中



写真—4.8 注水中



写真—4.9 攪拌中の様子



写真—4.10 鉛溶出抑制処理品の排出



## 4.6 溶出抑制処理効果の確認

表—4.3 に鉛溶出抑制処理前後の鉛溶出量を示す。処理前は特管産廃扱いとなっていたが、鉛溶出抑制処理によって基準値（0.3mg/L）以下に溶出量を抑制することができました。

表—4.3 現場での鉛溶出抑制処理効果の確認

	処理前	処理後
鉛溶出量 (mg/L)	0.64	0.007

## 5 現場における本方法の適用手順

次に本工法を塗替塗装工事に適用する場合の手順を示します。

- (1) ブラストによる旧塗膜の研削とブラスト廃材の荷降ろし・集積
- (2) ブラスト廃材から試料を採取して溶出試験を実施  
鉛の溶出量が基準値以下の場合には通常産廃として処理
- (3) 鉛の溶出量が基準値超過の場合、速やかに不溶化剤の必要添加量調査を行い、添加量を設定したうえで、鉛溶出抑制処理を実施
- (4) 鉛溶出抑制処理品から試料を採取し、溶出試験を実施
- (5) 鉛の溶出量が基準値以下であれば通常産廃<sup>注1)</sup>として処理  
鉛の溶出量が基準値以上なら、不溶化剤の添加量を再検討して、再度、鉛溶出抑制処理作業を実施し、基準値以下となれば通常産廃<sup>注1)</sup>として処理

注1) 鉛または鉛化合物以外の六価クロム化合物・PCB等、廃棄物の処理および清掃に関する法律に定めのある有害物質についても基準値以下であることが必要です。

## 6 おわりに

今回の検討・開発を通じて、ブラスト工場の現場において、鉛溶出を抑制する処理が実用的に可能である見通しが得られました。

今後は、ブラスト廃材が大量に発生した場合の検討や、添加する不溶化剤および水の適量などについて、さらに改善し検討する必要があります。

また、本工法は、鉛を対象としたものですが、鉛以外の成分の溶出によっても特管産廃になる可能性があるため、他成分にも有効な溶出抑制の検討・開発が課題として挙げられます。

最後に、本工法は開発から日が浅く、これからも種々の課題が発生するかもしれませんが、橋梁の長寿命化技術の一端を担えるように、環境負荷低減やコスト低減を行える本工

法をより良いものに改良していきたいと考えています。

最後になりましたが、不溶化剤についてご協力頂いた(株)ネオナイト、現場試験の機会を与えていただいた阪神高速道路(株)大阪管理部および佐野塗装(株)に謝意を表します。また一般社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会には今回の発表の機会を与えていただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 総理府：総理府令第5号、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令、別表第四、昭和48年2月17日
- 2) 総理府：総理府令第35号排水基準を定める省令、別表第一、昭和46年6月21日
- 3) 廃棄物学会：「廃棄物試験・検査法研究部会」2002年度報告書、p.40、2003年3月
- 4) 社団法人土壌環境センター：重金属不溶化処理土壌のpHの安定性の相対的評価方法、平成23年3月