

# カルシウム・アルミニウム焼成化合物による クロムで汚染された土壌の不溶化

小林英司・○北川雄士  
株式会社総合開発

# 背景・目的

## 背景

六価クロムや六価セレンに対しても活性を示す資材とその浄化技術(CaL-AL Tech.)を(株)四国総合研究所が開発し、報告している。

当社では、これまでに該資材の重金属類不溶化能力について試験を行い、該資材の六価クロムと六価セレンに対する活性が非常に高いことを確認した。六価クロム、六価セレンは排水や土壌、廃棄物などで問題となることがあるが、他の有害な重金属類よりも、対処が困難であるとされている。

## 目的

土壌改良などでセメント系の材を使用した際に、土壌によってはセメント由来の六価クロムが溶出し、問題となることが知られている。

セメント由来の人的なクロム汚染のある現場として、コンクリート工場敷地内の土壌を使用し、該不溶化材のクロム溶出抑制効果を確認することを目的とした。



# 材料

## 六価クロムに対応する不溶化材

**SK66** (株)四国総合研究所の技術 (CaL-AL Tech.)を用いて作製)

カルシウム・アルミネート化合物を含む多孔質な資材である。

六価クロム、六価セレンを不溶化する能力が高い。

なお、クロムに対しては全クロムを不溶化する能力を有している。



SK66



SK-G

### SK-G

土壌への添加を想定し、施工性や分散性を高めるために、

SK66に補助材を混合した資材である。

今回の試験で使用したものは、SK66を約10%含んだものである。



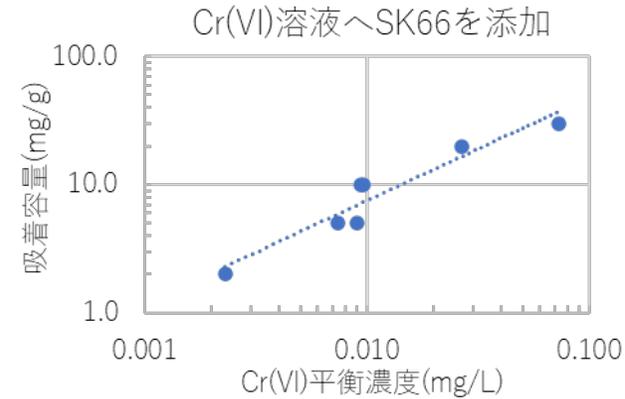
# SK66のクロム・セレン不溶化能力

## 不溶化能力の確認

六価クロム・六価セレンの溶液へSK66を添加し、24時間連続振とうを実施。振とう後、0.45 $\mu$ mのフィルターでろ過し、各元素の濃度を測定。

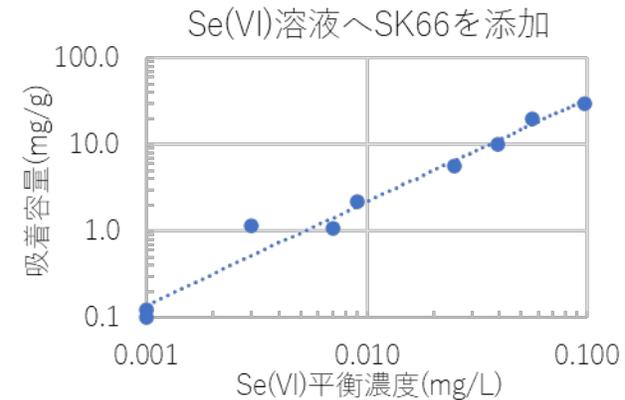
表1. 六価クロム・六価セレン溶液へSK66を添加した場合の効果(一例)

対象元素	初期濃度 (mg/L)	添加量 (wt%)	処理後の濃度 (mg/L)
六価クロム	50	1	0.007
	200	1	0.026
六価セレン	1	1	< 0.002
	20	1	0.009



六価クロム平衡濃度が0.05mg/Lになる時のSK66の吸着容量は27.6mg/g

図1. SK66の六価クロム吸着等温線



六価セレン平衡濃度が0.01mg/Lになる時のSK66の吸着容量は2.2mg/g

図2. SK66の六価セレン吸着等温線



# 試験実施場所などに関して

## 試験場所

コンクリート工場内の製品屑置き場周辺の土壌。  
事前の調査でのクロム溶出濃度は表1の通り。  
土壌改良によりクロムが溶出している土壌とは異なるが、  
同様の工場などで、六価クロム溶出濃度も高い現場は  
多少なりともあるのではないかと想像される。

## 試験場所の土壌を処分・搬出する場合

- ・立地から、溶出しているクロムが人的な汚染(セメント由来)によるものと容易に想像される。
  - ・六価クロム濃度は環境基準値以下であるが、全クロム濃度が高め(0.05mg/L以上)である。
- ⇒土壌を処分・搬出となった場合、通常の建設発生土として扱うにはややリスクが有り、  
汚染土壌と同等の対応が求められる可能性が考えられる。



今回の試験では、全クロム濃度を指標とし、試験を実施することとした。

表2. 事前調査での試験場所からのクロム濃度

	全クロム 溶出濃度 (mg/L)	六価クロム 溶出濃度 (mg/L)
サンプル1	0.098	0.019
サンプル2	0.074	0.028
サンプル3	0.079	0.022



# 実験①（屋内試験）

## クロム溶出抑制に必要な不溶化材の添加量の把握

### 試験に施用した土

試験実施場所の土壌を風乾後、目開き2mmの篩を通過したもの。

### SK66を添加しての試験

2mm以下の土に対して、SK66を0.2～0.8wt%添加したサンプルを作製。

固液比1：10で6時間の連続振とう後、孔径0.45 $\mu$ mのメンブレンフィルターでろ過。

ろ液について、偏光ゼーマン原子吸光光度計にて全クロム濃度を測定。

### SK-Gを添加しての試験

2mm以下の土に対して、SK-Gを1～8wt%添加したサンプルを作製。

溶出試験と全クロム濃度の分析は、SK66添加の場合と同様。



# 実験①（屋内試験の結果）

## 溶出抑制に必要な不溶化材の添加量

2mm以下の土に対して、  
SK66では0.4wt%程度、  
SK-Gでは3wt%程度添加することで、  
全クロム溶出濃度(0.07~0.08mg/L)  
を0.05mg/L以下に抑制することができた。

土壌を1.6t/m<sup>3</sup>と仮定した場合、不溶化には  
SK66では10kg/m<sup>3</sup>程度、  
SK-Gでは50kg/m<sup>3</sup>程度  
添加が必要であると考えられた。

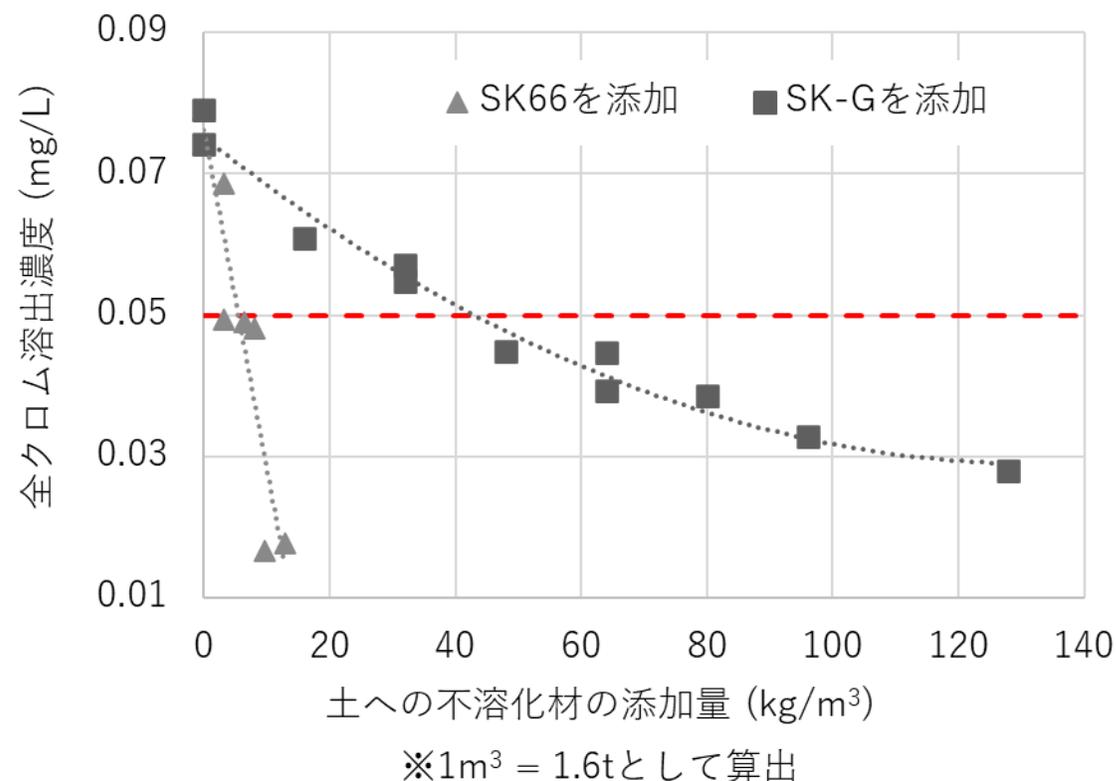


図3. 屋内試験でSK66およびSK-Gを添加した際の添加量による全クロム溶出濃度の違い

## 実験②（試験施工）

### 試験に使用した不溶化材の種類と添加量

#### Case 1 : SK66を20kg/m<sup>3</sup>添加

屋内試験の結果から、約10kg/m<sup>3</sup>の添加で対処が可能と推測されたが、現場での施工性(土壌との均一な混合)を優先した添加量とした。

#### Case 2 : SK-Gを30kg/m<sup>3</sup>添加

添加後も、全クロム溶出濃度が0.05mg/Lを超過すると予測される添加量。

#### Case 3 : SK-Gを50kg/m<sup>3</sup>添加

添加後に、全クロム溶出濃度が辛うじて0.05mg/L を下回ると予測される添加量。

#### Case 4 : SK-Gを80kg/m<sup>3</sup>添加

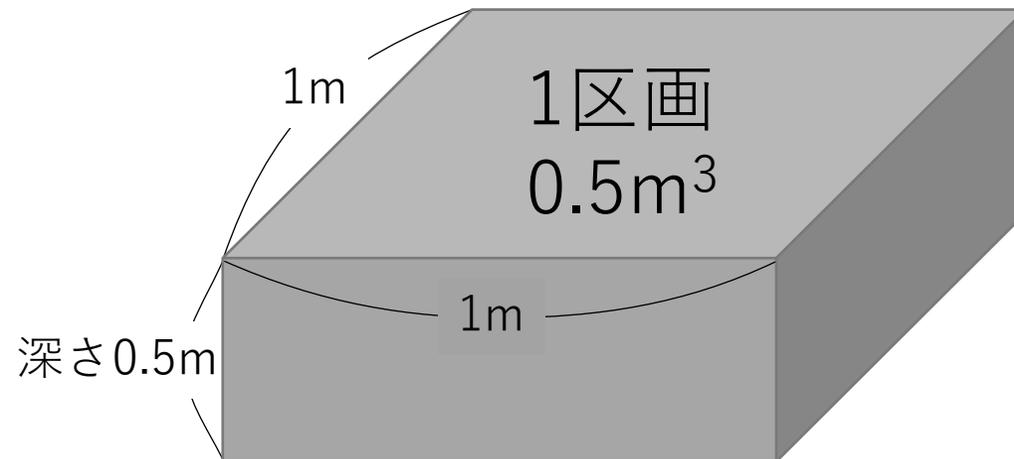
添加後に、全クロム溶出濃度が確実に0.05mg/L を下回ると予測される添加量。



## 実験②（試験施工）

### 試験区画

施工現場の土壌から溶出しているクロムはコンクリート製品の原料(セメント)に由来し、地表面からの供給と推測され、土壌の深層では表層よりも濃度が低い可能性があるため、深くしすぎない点に考慮し、1区画の大きさは、縦×横×深さ=1×1×0.5m(0.5m<sup>3</sup>)とした。



# 実験②（試験施工）

## 試験手順

### 試験施工の手順

- 1) 各実施区画の間に0.5～1m程度の間隔を設け、区画を設置。
- 2) 各実施区画を重機で深さ0.5mまで掘り、土壌を攪拌した後、ブランクの土壌を採取(2点)。
- 3) 各実施区画に不溶化材SK66およびSK-Gを添加し、重機で十分に混合。
- 4) 不溶化材を十分に混合した後、各実施区画内の四隅と中央から土壌を採取(5点)。

### クロム溶出濃度の確認手順

- 1) 採取した土壌サンプルは養生期間を設けず、風乾し、目開き2mmの篩で分級した。
- 2) 分級した2mm以下のサンプルについて、固液比1：10で6時間の連続振とう後、孔径0.45  $\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過。
- 3) ろ液について偏光ゼーマン原子吸光光度計にて全クロム濃度を測定。



## 実験②（試験施工）

### 結果

- Case 1とCase 4では全クロム溶出濃度が想定通り、0.05mg/Lを下回った。
- Case 1でのクロム溶出抑制では、屋内試験ほど低濃度にならなかったものの、想定よりやや高い初期溶出濃度の土壌を目標以下にできており、効果が認められた。
- Case 4では、処理後の全クロム溶出濃度が屋内試験の結果と近似しており、十分なクロム溶出抑制効果が確認された。

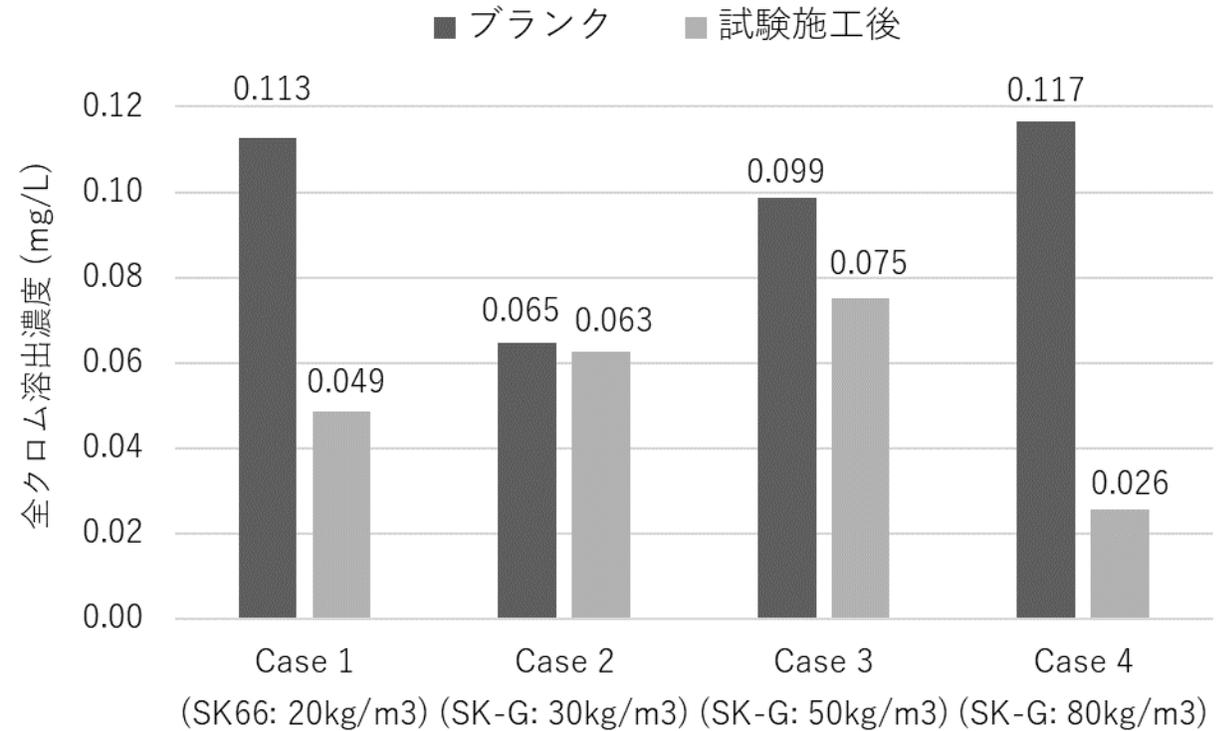


図4. 試験施工で各区画に不溶化材を添加した前後での全クロム溶出濃度(平均値)



# 考察-1

## 屋内試験と試験施工でのクロム溶出抑制効果の違いに関して

SK66は試験施工でもクロム溶出抑制効果が高かったが、屋内試験の抑制効果とは差があった。

⇒ ・ 20kg/m<sup>3</sup>の添加量で、試験施工において均一な混合が可能であると予測していたが、施工した際の土壌の水分状態では、想定より材の分散性が悪かった可能性がある。

・ 不溶化材の添加から溶出試験までの手順が異なり、

（ 屋内試験：①風乾 → ②分級 → ③計量 → ④材の添加 → ⑤溶出試験  
試験施工：①材の添加 → ②風乾 → ③分級 → ④計量 → ⑤溶出試験 ）

事前試験の手順が、試験施工と誤差の生じやすいものとなっていた可能性が考えられた。

SK-Gを添加した場合でも、添加量が少ないCase2, 3では、屋内試験との差が大きかった。

⇒ ・ 不溶化材の添加から溶出試験までの手順が異なることに起因(SK66の際と同様)。

・ 添加量が多いCase 4では混合が容易にでき、屋内試験と同様の結果となったと考えられた。



## 考察-2

### SK66に補助材をあわせたSK-Gのメリットに関して

- ・ SK-Gに使用している補助材はクロムを不溶化する効果がほとんどないものである。
- ・ SK-Gのクロム不溶化の能力は、含まれるSK66に起因するものと考えられる。
- ・ 今回の試験の場合、SK-Gに含まれるSK66は約10%で、不溶化材が含むSK66の量は、SK-G : 80kg/m<sup>3</sup> ≒ SK66 : 8kg/m<sup>3</sup> であるが、試験施工では、クロム溶出抑制効果はSK-Gの方が良い結果となった。

Case	Case 4 SK-G : 80 kg/m <sup>3</sup>	Case 1 SK66 : 20 kg/m <sup>3</sup>
処理後の全クロム溶出濃度	0.026 mg/L	0.049 mg/L

⇒SK-Gの補助材はSK66の施工性や分散性を高めるだけでなく、  
土壌に添加する際に有効成分のSK66を劣化させない効果もあると推察された。



## まとめ

- ・ SK66とSK-Gは、セメントに由来するクロムで汚染された土壌への添加においてもクロム溶出抑制効果を発揮することが明らかとなった。
- ・ 土壌からの六価クロム溶出濃度がそれほど高くない場合には、分散性などの観点から、SK-Gの利用が有効であると考えられた。
- ・ 土壌からの六価クロム溶出濃度が高い場合には、SK66の使用が適していると考えられた。
- ・ アルカリ条件の土壌から溶出するクロムに対して、各材の不溶化効果が認められたことから、焼却灰(石炭灰や木質燃焼灰などを含む)など、土壌以外にも利用できる可能性が考えられた。

