

再生骨材からの重金属溶出への対応

森濱和正* 渡辺博志** 片平 博***

1. はじめに

コンクリート解体材を破砕した再生骨材は、路盤材などへのリサイクル材として利用されており、非常に高い利用率となっている。しかしながら、コンクリートに使用した材料に含まれている微量の重金属が溶出するといわれている。重金属のうち、コンクリートからの溶出で検討する必要があるのは、水溶性の高い6価クロムといわれており、本文でも6価クロムの溶出を対象としている。

路盤材などからの6価クロムの溶出は微量といわれているが¹⁾、今後さまざまな用途に対して安全に使用することをめざし、6価クロムの溶出試験の確立のための溶出特性に関する検討、および溶出抑制対策に関する検討を行っており、それらの現時点の検討状況について報告する。

2. 再生骨材からの6価クロム溶出への対応の現状と課題

2.1 再生骨材から6価クロムが溶出する原因

再生骨材から溶出する6価クロムの多くは、現状ではセメントからのものと考えられている。セメント原料である石灰石などや、原料を焼成するロータリーキルンに張られている耐火レンガにクロムが含まれている。大部分は Cr_2O_3 (3価) で存在しており、安定しているといわれている。しかし、焼成後に6価クロムが含まれていることから、焼成における酸化と高温によって発生するものと考えられている²⁾。

2.2 再生骨材からの6価クロムの溶出

コンクリートからの6価クロムの溶出は、コンクリート工事中、コンクリート構造物、解体後の三段階に分類できる。ここでは、工事中については対象としない。コンクリート構造物からの溶出は、コンクリートの硬化過程で6価クロムが固定化されるといわれており、溶出はわずかであるといわれている²⁾。ただし、供用期間の長い構造物

は、コンクリート表層の中性化部分と、内部の非中性化部分では、前者の溶出が多いといわれている¹⁾ものの、構造物として使用されている間は比表面積が小さいので溶出は極めて少ないものと考えられる。問題になると考えられるのは、解体して再生骨材として有効利用を図るときである。細かく破砕するので比表面積が著しく増加し、中性化しやすくなり、溶出に大きく影響することが懸念されている。そのため、主に再生骨材を対象にした溶出の検討が必要である。

2.3 6価クロム溶出試験の現状と課題

再生骨材として利用していかどうかを判定するためには、6価クロムの溶出試験が必要である。用途によっては既にその方法が定められている¹⁾。産業廃棄物の埋め立てについては、環境省告示(以下、環告という) 13号、土壤に関しては環告46号が定められている。しかしながら、再生骨材については未だに溶出試験方法が定められていないため、現状では環告13号または46号が用いられている。再生骨材に対してこれらの方法が適しているのかどうかの確認、あるいは再生骨材に適した溶出試験方法の確立が必要と考えられる。

溶出試験は、試料からの6価クロムの溶出方法と、溶出した濃度の測定で構成される。濃度の測定には、JIS K 0102 (工場排水試験方法) があり、問題は溶出方法である。溶出方法は、溶出に用いる試料 (主に粒度)、溶出に用いる溶媒、溶媒と試料の比 (液固比)、溶出時間、溶出操作 (振とう方法など)、検液の作製 (ろ過方法) を決める必要がある。再生骨材からの溶出に対して、これらの条件をどのように決めるのかという問題がある。そのためには、再生骨材からの長期の溶出挙動などと、溶出試験結果の関係を明らかにしておく必要がある。

2.4 6価クロム溶出抑制対策の必要性

コンクリート解体材は年間数千万tも発生しており、現在のところ、そのほとんどが路盤材に利用されている。しかしながら、今後は建設工事の減少により路盤材としての利用も減少することが

考えられることから、そのほかの用途への利用が考えられる。

例えば、コンクリート用骨材としての利用は多くの研究があり、既にJIS化されており、品質によりH、M、Lに分類されている。これまで路盤材に回っていたものが、再びコンクリート用骨材として用いられる機会も増えてくるものと考えられる。コンクリート構造物として利用されている限りにおいては、前述のとおり6価クロムは固定化されるので溶出の問題はほとんどない。しかし、高品質の再生骨材Hを製造するにあたって、破碎前のコンクリート量に対してコンクリート用再生骨材はその半分程度であり、残りの半分は微粒分となるため、この微粒分の有効利用を検討する必要がある。微粒分を埋め戻し材などの砂として利用する場合、溶出試験が義務付けられている³⁾。その際、粒度が細くなるため6価クロムイオンの溶出濃度が高くなり、環境基準(0.05mg/L以下)を満足しなくなることも考えられる。基準を満足できなければ廃棄することになるが、廃棄場の容量が数年分しかないといわれている現状で、大量の廃棄物を発生させてしまうという問題を生じる。しかも、産業廃棄物であることから、多額の費用をかけて管理型の廃棄を行う必要がある。

このようなことから、環境基準を上回る溶出が確認された場合でも安全に利用できるように、溶出抑制対策を検討しておくことは重要である。

以上のように6価クロムの溶出対策として、溶出試験方法の確立、そのための溶出特性の検討、また、溶出試験結果が環境基準を満足できない場合には溶出抑制対策が必要であり、これらの検討状況を報告する。

3. 6価クロムの溶出特性

コンクリート解体材を再生骨材として有効利用するまでを考えた時、まず構造物はさまざまな種類のコンクリートで造られており、供用期間もさまざまである。そのような構造物の解体材から、再生骨材を製造するために中間処理施設に運び込まれ、破碎し、現場に出荷される、という過程をとる。このような過程のもとで溶出濃度がどのように変化するかを想定して溶出試験を行なった。

3.1 水セメント比と破碎後の材齢の影響

水セメント比(W/C) 30%、50%、70%の3種

類のコンクリートを2mm以下に破碎後、気中で保存した。保存中の試料を、1年までの各材齢で溶出試験に供し、環告46号によって6価クロムの溶出濃度を測定した。その結果が図-1である。

図-1の結果より、W/Cが大きいほど溶出濃度は高く、しかも破碎後の日数が経過したものほど濃度が高い。同時に気中保存期間中の中性化深さ試験を行なった結果を図-2に示す。W/Cが大きいほど中性化も進行しており、W/C=30%ではほとんど中性化していないことがわかる。この結果より、破碎後の経過日数に応じて中性化が進行し、6価クロムの溶出濃度は高くなったものと考えられる。

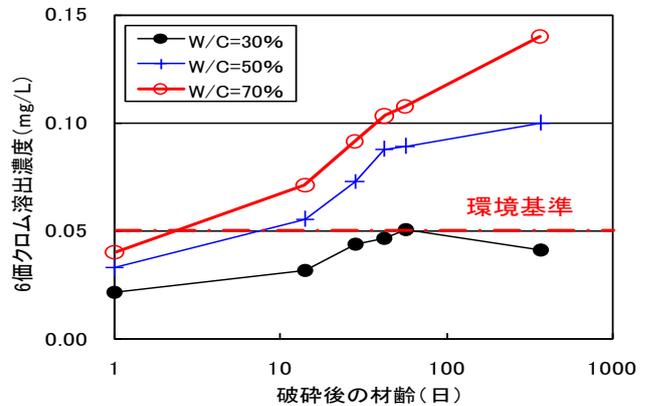


図-1 水セメント比の違い、破碎後の材齢と6価クロム溶出濃度の関係

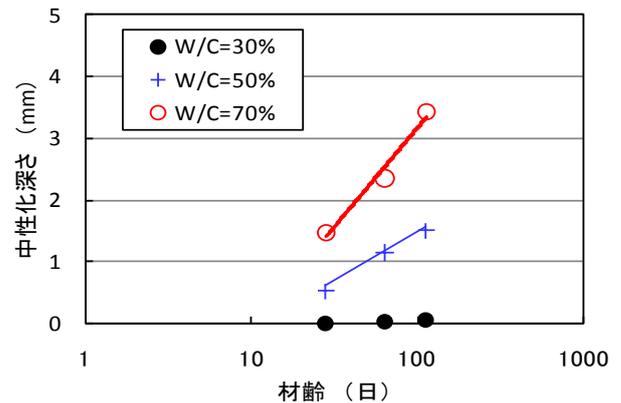


図-2 中性化深さ試験結果

3.2 粒度の影響

W/C=70%のコンクリートを20mm以下に破碎して、9週後に、20mm以下、10mm以下、5mm以下、2mm以下の試料の溶出試験を行なった結果が図-3である。また、図-1と同じ試料で、1年後のものについて、2mm以下の試料をさらに細かくふるい分けて溶出試験を行なった結果が図-4である。どちらも環告46号に準じた溶出試験を行なった。

両図より、粒度が細くなるほど溶出濃度は高くなっており、粒度の影響が大きいことがわかる。

図-4について、6価クロム溶出の原因であるセメントペーストが、各粒径にどの程度付着しているのかを確認するため、同じ試料を0.1Nの塩酸溶液に24時間溶解した後に残った骨材の量（不溶残分）を測定した。その結果は図-5のとおりである。

図-5より、W/C=30%、50%と70%では多少傾向が異なっている。W/C=30%と50%は、粒径0.6mm以上の不溶残分は90%以上、つまり骨材に付着していたセメントペーストは10%未満であったことを示している。0.6mm以下は粒径が小さくなるほど不溶残分は少なく（セメントペーストが増えて）なっている。このように、粒径が小さいほど溶出の原因となるセメントペースト量が多いため、比表面積の増加とともに溶出濃度も高くなったものと考えられる。ただし、セメントペーストの量の違いほど溶出濃度の違いとなっていないのは、濃度を求めているのであって、含有量ではないためと考えられる。

4. 6価クロムの溶出抑制対策

4.1 スラッグの溶出抑制効果

6価クロムの溶出抑制には高炉スラッグが有効といわれている。その理由は、スラッグに含まれている硫化物が6価のクロムを3価に還元する効果を有しているためと考えられている。

ただし、高炉水砕スラッグはコンクリートの混和材料などに利用されており、需給がひっ迫しているため、還元材として用いるには必ずしも適しているとはいえない。また、高炉スラッグは製鉄所から産出されるものであり、利用可能な地域が限定される。全国で抑制対策を講じる必要があるとなれば、需給がタイトではなく、全国どこからでも入手しやすいスラッグが利用できることが望ましい。そのため、製鉄所から産出される高炉徐冷スラッグおよび転炉スラッグ、全国にある電気炉スラッグによる溶出抑制効果について検討した。高炉徐冷スラッグは、高炉スラッグの一種であるため、硫化物による還元効果が期待できるが、転炉スラッグおよび電気炉スラッグは高炉スラッグとは組成が異なっており、溶出抑制メカニズムの検討が別途必要である。

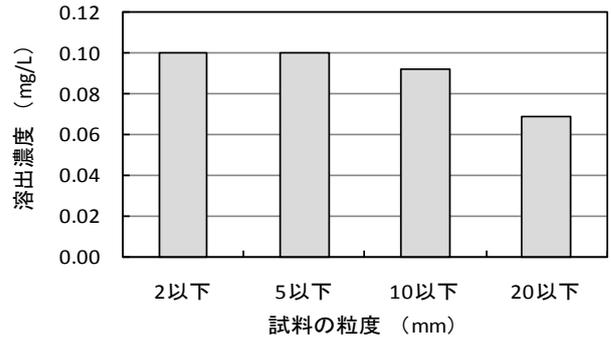


図-3 試料の粒度（2～20mm以下）と溶出濃度

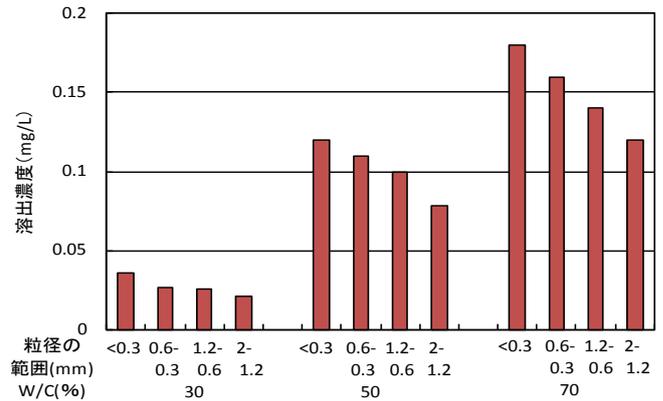


図-4 試料の粒径（2mm以下）と溶出濃度

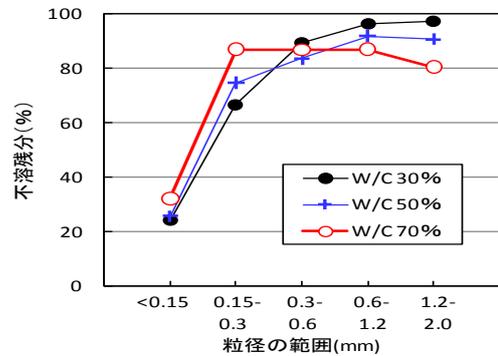


図-5 不溶残分

4.2 スラッグによる溶出抑制効果の確認実験

実験に用いた再生骨材は、コンクリートを2mm以下に破碎して室内に保管して1年後のものである。スラッグは、高炉徐冷スラッグ、転炉スラッグおよび組成の異なる2種類の電気炉スラッグAとBの計4種類である。スラッグも2mm以下に破碎したものを再生骨材に添加・混合した。添加量は、高炉徐冷スラッグは6%まで1.5%ずつ増やし、それ以上は8%、10%である。転炉スラッグ、電気炉スラッグもはじめは同じ添加率としたが、効果が少なかったため、10%ずつ増やし30%まで添加した。混合方法は、スラッグを所定量添加したあと、還元が進むように表乾状態になるまで徐々に水を加えな

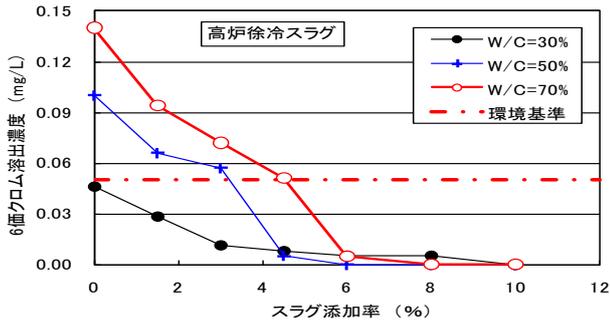


図-6 高炉徐冷スラグの抑制効果

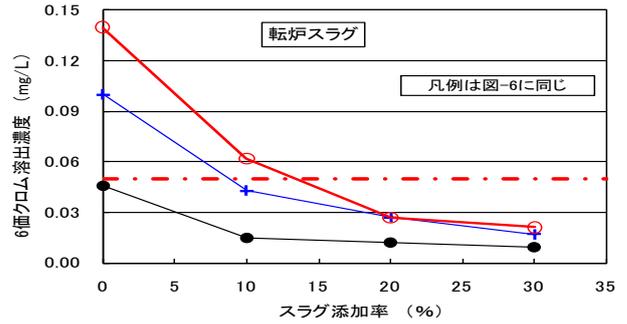


図-7 転炉スラグの抑制効果

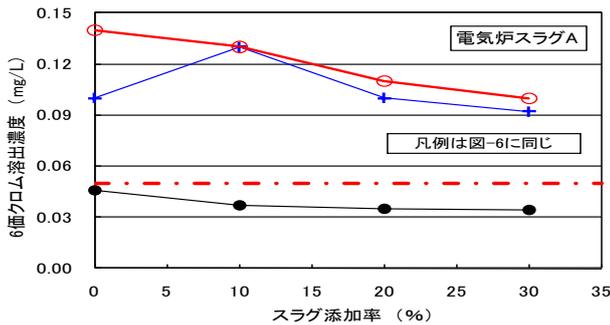


図-8 電気炉スラグAの抑制効果

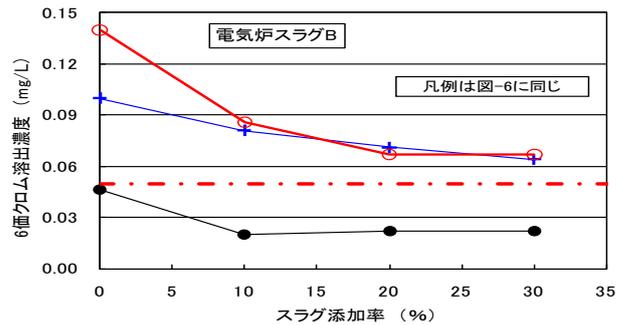


図-9 電気炉スラグBの抑制効果

から混合した。溶出試験は24時間後に行なった。結果は図-6～図-9のとおりである。

図-6の高炉徐冷スラグの溶出抑制効果は大きく、W/C=70%の場合でも6%添加すればほとんど溶出は抑制されている。次に転炉スラグの抑制効果が大きく、W/C=70%の場合でも20%添加すれば環境基準を満足している。電気炉スラグは2種類とも、今回の実験では溶出抑制効果は確認できなかった。低下傾向にあるのは、スラグの添加率程度低下したものと考えている（希釈効果）。

5. まとめ

再生骨材からの6価クロムの溶出傾向や、スラグによる溶出抑制効果に関して検討し、以下のようなことが明らかになった。

- 1) 再生骨材からの6価クロムの溶出は、解体したコンクリートの配合、解体後あるいは再生骨

材製造後の経時変化、再生骨材の粒度などの影響を受ける。

- 2) 溶出抑制のためにはスラグの添加が有効であるが、スラグの種類によって効果は異なる。

現在、大学、材料・施工メーカーと共同研究を実施しており、実用的な溶出試験方法、溶出抑制対策の確立にむけ、さらに検討を行なっているところである。

参考文献

- 1) 坂井悦郎ほか：コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題、土木学会コンクリートライブラリー111、2003.3
- 2) 高橋茂：セメントに含まれる微量成分の環境への影響、セメント・コンクリート、pp.20～29、2000.6
- 3) 国土交通省：公共建設工事における再生コンクリート砂の使用に係る留意事項について、国官技第181号、2007.10

森濱和正*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ基礎材料チーム 総括主任研究員
Kazumasa MORIHAMA

渡辺博志**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ基礎材料チーム 上席研究員、工博
Dr. Hiroshi WATANABE

片平 博***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ基礎材料チーム 主任研究員
Hiroshi KATAHIRA