

再生路盤材からの6価クロム溶出抑制対策

森濱和正* 渡辺博志** 片平 博***

1. はじめに

本誌2010年6月号¹⁾において「再生骨材からの重金属溶出への対応」と題して予備的な検討結果を報告した。研究対象は、コンクリート再生材からの重金属のうち特に6価クロムの溶出である。研究目的は、6価クロムの溶出に対する安全性を確保するための、溶出試験方法の確立、および産業廃棄物を増やさないための溶出抑制対策である。

予備検討では、水セメント比30、50、70%のコンクリート塊を再生骨材とみなし、それを2mm以下に破碎したものを試料として実験を行なった。その結果、6価クロムの溶出濃度が高くなるのは、水セメント比が大きく、破碎後の経時変化に伴う中性化の進行によること、また、細かく破碎されたものであること、などがわかった。溶出を抑制する方法に関しては、鉄鋼スラグを添加することが有効であった。ただし、鉄鋼スラグの種類によって抑制効果が異なり、高炉徐冷スラグの抑制効果が最も高く、再生材の質量の数%の添加で環境基準（0.05 mg/L）を満足できた。転炉スラグは20%程度の添加が必要であった。電気炉スラグはほとんど効果がみられなかった。

その後、公立大学法人宮城大学、JFEスチール(株)、前田道路(株)と共同研究を行い、再生路盤材、埋戻し材からの溶出試験方法と溶出抑制対策を確立することを目的に、次の項目について検討した。

- (1) 溶出に及ぼす試料の粒度の影響
- (2) 簡易溶出試験
- (3) 溶出抑制に関する試料、スラグの粒度の影響
- (4) ポット試験、フィールド試験による確認実験

これらの検討結果のうち、本稿では溶出抑制対策に関する(3)と(4)のポット試験の結果について報告する。なお、もう一つの研究目的である溶出試験方法については、(1)より再生路盤材からの6価クロムの溶出のほとんどは5mm以下の試料であること²⁾、(2)では環境庁告示（以下、環告）46号による溶出

試験結果とほぼ同様の結果を迅速に求められる方法³⁾、などの成果を得ている。

2. 溶出抑制に関する検討⁴⁾

2.1 実験方法

実験に用いた再生路盤材（以下、試料）は、環告46号の基準（0.05 mg/L）を上回る溶出が確認されている水セメント比 70%のコンクリートを破碎したものとした。

溶出抑制のために用いたスラグは、高炉徐冷スラグと転炉スラグである（以下、総称して還元材と呼ぶ）。スラグの組成は表-1のとおりである。

実験の組合せは、表-2 のとおり試料と還元材の粒径・粒度と添加率を変化させた。還元材の最大粒径は、試料の最大粒径が 20mm および 10mm の場合に 10mm、5mm および 2mm、同様に 5mm の場合に 5mm および 2mm、2mm の場合に 2mm である。

還元材の添加率は、予備検討の結果から、高炉徐冷スラグは 10%まで 2%ずつ、転炉スラグは 30%まで 10%ずつ増やした。

試料と還元材の混合は、気乾状態のものを所定量をビニル袋に入れ、水を表乾になるまで徐々に加えながら激しく振るといった方法とした。

溶出試験は環告 46 号に準じ、混合後 24 時間後に行なった。なお、本実験で用いた装置の濃度の検出限界は 0.005mg/L である。

2.2 実験結果

実験結果は、図-1 および図-2 のとおりである。

(1) 高炉徐冷スラグの溶出抑制効果

図-1より、高炉徐冷スラグの溶出抑制効果はきわめて高いことが確認できる。試料からの溶出濃度は 0.06~0.07mg/L程度に対して、高炉徐冷スラグを 2%添加しただけで溶出濃度は大きく低下し、0.02mg/L以下になった。

特に試料の最大粒径が大きいほど溶出濃度が小さく、また抑制効果も大きくなっており、最大粒径 20mm では 2%添加しただけで検出限界以下になり、それ以上の添加率の結果は示していない。試料の最

大粒径が大きくなるほど抑制効果が大きくなった理由は、比表面積が小さくなるため、スラグの溶出抑制効果が発揮されやすくなったものと考えられる。

(b)図、(c)図の試料の最大粒径 10mm と 5mm の結果では、スラグの最大粒径を小さくすることにより抑制効果はわずかに高くなっており、スラグの細粒分が多いほど抑制効果が期待できるものと考えられる。

(2) 転炉スラグの溶出抑制効果

図-2 より、転炉スラグの溶出抑制効果は、添加率は異なるものの高炉徐冷スラグと同様に、転炉スラグを添加すると溶出濃度は低下した。高炉徐冷スラグ 2%、4%添加と、転炉スラグ 10%、20%添加したときの濃度はほぼ同じになっていることから、今回使用した転炉スラグの抑制効果は高炉徐冷スラグの 1/5 程度と考えられる。

3. ポット試験⁵⁾

2 章の溶出試験および溶出抑制対策については実験室で検討した結果であるが、それが実現現場に対応した結果となっているのかを確認するために、試験舗装による検討（フィールド実験）と、実際の舗装構成を容器内に再現したポット試験を行なった。ここでは、舗装内を浸透した水を採取して 6 価クロムの溶出濃度を測定したポット試験結果を示す。

3.1 ポット試験の層構成

ポット試験は、図-3のように直径250mm、深さ290mmのプラスチック製の容器内に、表層50mmのアスファルト、路盤200mm、最下層に砂の排水層を40mm設け、ビニルホースを取り付け水が採取できるようにした。アスファルトは、密粒と透水性の2種類である。この容器を屋外に設置し、雨が浸透して水が採取容器内にほぼ一定量貯水されると、6価クロムの濃度を測定した。

3.2 ポット試験の実験の組合せ

試料（RC40：recycled crusher-run、最大粒径40mm）は、溶出抑制のために高炉徐冷スラグまた

表-1 スラグの組成

| スラグの種類 | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | MnO | P ₂ O ₅ | T.Fe | M.Fe |
|---------|------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-------------------------------|------|------|
| 高炉徐冷スラグ | 42.1 | 34.2 | 14.9 | 6.5 | 0.4 | - | 0.5 | 0.2 |
| 転炉スラグ | 39.3 | 11.9 | 2.3 | 5.6 | 3.1 | 2.0 | 21.5 | 2.2 |

表-2 試料とスラグの粒径と添加率の組合せ

| 試料の最大粒径 (mm) | 還元材の種類 | | |
|--------------|---------|-----------|--------------|
| | スラグの種類 | 最大粒径 (mm) | 添加率 (%) |
| 20以下 | 高炉徐冷スラグ | 10、5、2 | 0、2、4、6、8、10 |
| | 転炉スラグ | 10、5、2 | 0、10、20、30 |
| 10以下 | 高炉徐冷スラグ | 5、2 | 0、2、4、6、8、10 |
| | 転炉スラグ | 5、2 | 0、10、20、30 |
| 5以下 | 高炉徐冷スラグ | 2 | 0、2、4、6、8、10 |
| | 転炉スラグ | 2 | 0、10、20、30 |

は転炉スラグを添加した。添加率は、これまでの実験結果から¹⁾、前者は0、3、5、7%、後者は10、15、20%とした。再生埋戻し材用の試料（RC10）についても同様に実験した。

使用した試料は、製造直後に環告 46 号による溶出試験を行い、基準値を上回る 0.07mg/L のものである。

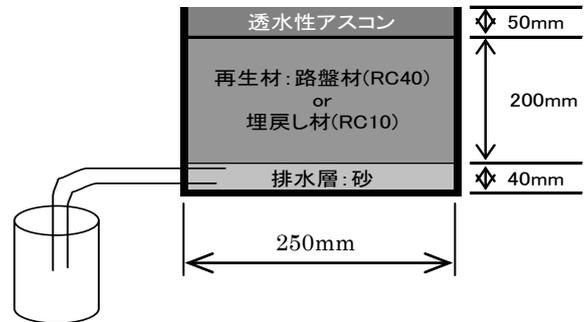


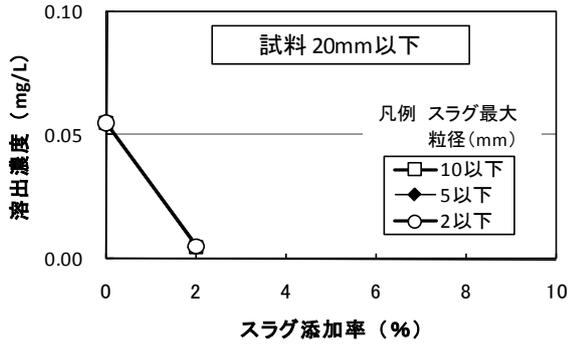
図-3 ポット試験の概要

3.3 ポット試験の結果

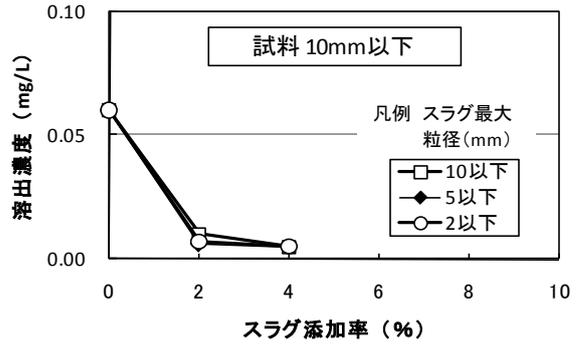
6価クロム濃度の測定は、雨量がほぼ100mmごとに3回、その後600mm以上から再度100mmごとに3回、合計6回行なった。以下の結果は、透水性アスファルトの場合について示す。

(1) 試料からの溶出

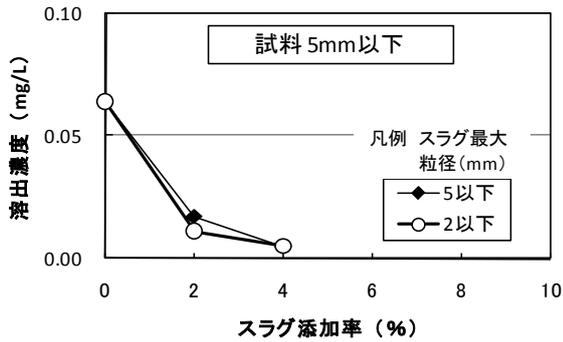
図-4 に溶出抑制対策を行わない（スラグ無添加）場合について、横軸に試験回数、縦軸に溶出濃度の結果を示す。1 回目は、環告 46 号による溶出試験結果（0.07mg/L）以上の高い溶出濃度が検出された。3 回目以降はほぼ一定値になっているが、その濃度は、環告 46 号による結果 0.07mg/L 程度の溶出が継続しており、環告 46 号はほぼ妥当な溶出結果を与えているものと考えられる。



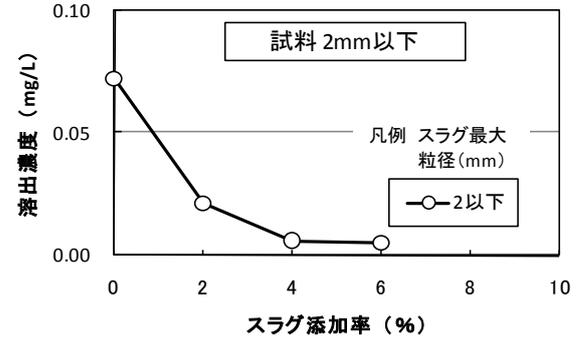
(a) 試料の最大粒径：20mm



(b) 試料の最大粒径：10mm

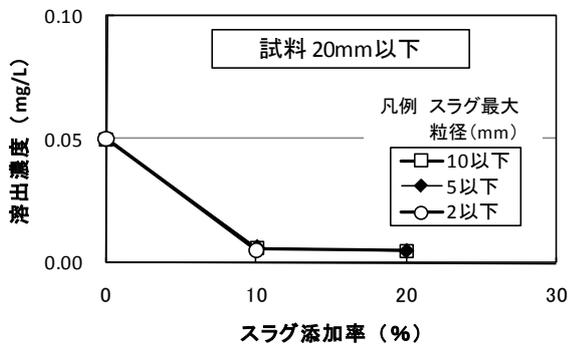


(c) 試料の最大粒径：5mm

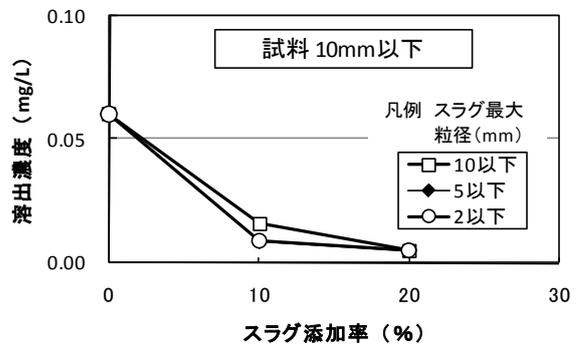


(d) 試料の最大粒径：2mm

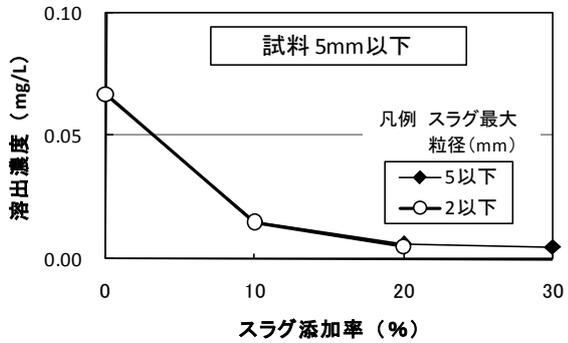
図-1 高炉徐冷スラグの溶出抑制効果



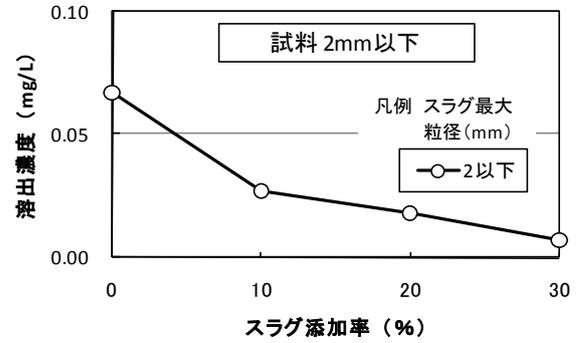
(a) 試料の最大粒径：20mm



(b) 試料の最大粒径：10mm



(c) 試料の最大粒径：5mm



(d) 試料の最大粒径：2mm

図-2 転炉スラグの溶出抑制効果

(2)溶出抑制効果

図-5は1回目の測定結果である。横軸はスラグ添加率である。高炉徐冷スラグは3%添加すれば基準

値以下になっており、溶出抑制効果が高い。転炉スラグも添加率の増加に伴い溶出濃度は低下するが、基準値を満足するには20%以上の添加が必要であ

る。

図-6 は、高炉徐冷スラグの添加率 3%と、転炉スラグの添加率 20%の場合の、試験回数と溶出濃度の関係である。高炉徐冷スラグは、試験回数にかかわらず低い濃度でほぼ一定値になっている。転炉スラグを添加した RC10 の結果は、原因は不明であるが、試験回数とともにしだいに濃度が高くなっている。RC40 の結果は次第に低下し、3 回以降は基準値を下回った。

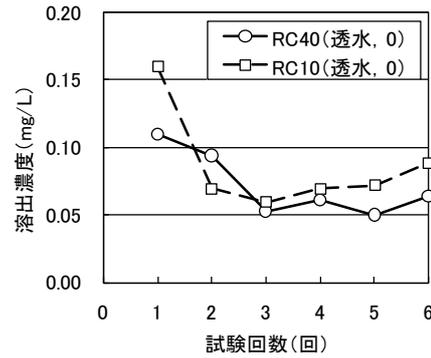


図-4 スラグ無添加の場合の溶出

4. おわりに

以上の結果より、次のことがわかった。

- (1) 高炉徐冷スラグを数%添加することにより、基準値を下回る溶出抑制が可能である。
- (2) 溶出試験および溶出抑制対策について、実験室で検討した結果は、ポット試験による結果とおおむね対応する。

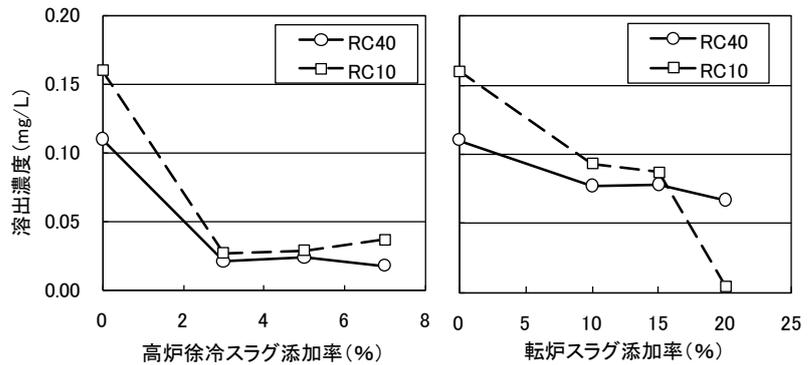


図-5 スラグ添加率と溶出濃度
(左：高炉徐冷スラグ，右：転炉スラグ)

参考文献

- 1) 森濱和正ほか：再生骨材からの重金属溶出への対応、土木技術資料、第52巻、第6号、pp.18～21、2010.6
- 2) 森濱和正ほか：再生骨材から溶出する6価クロムの溶出試験方法の検討 その2 再生路盤材からの6価クロムの溶出、第65回セメント技術大会講演要旨、pp.100～101、2011.5
- 3) 新田弘之ほか：セメントコンクリート再生骨材の六価クロム溶出判定の簡易方法の検討、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集第V部、pp.45～46、2009.9
- 4) 森濱和正ほか：再生路盤材からの6価クロムの溶出試験方法および溶出抑制対策に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1589～1594、2011.7
- 5) 森濱和正ほか：ポット試験による再生材からの6価クロム溶出及び抑制に関する検討、土木学会第66回

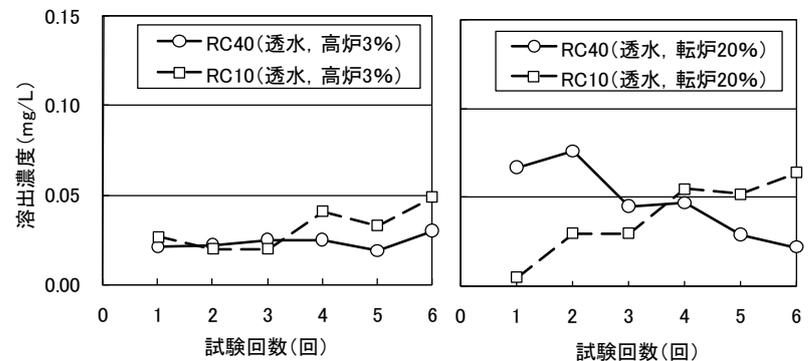


図 6 試験回数と溶出濃度
(左：高炉徐冷スラグ 3%，右：転炉スラグ 20%)

年次学術講演会講演概要集第V部、pp.1221～1222、2011.9

森濱和正*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所材料資源研究グループ
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
中央研究所材料資源研究グループ
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
中央研究所材料資源研究グループ
基礎材料チーム 主任研究員
Hiroshi KATAHIRA