

# 論文 産業副産物を用いたコンクリートの応用と有害金属の溶出抑制に関する研究

木村 仁\*1・丸山 久一\*2・森末 晴男\*3

**要旨**：電気炉の還元工程から排出されるスラグ（以下、還元スラグ）をコンクリート材料として使用し、消波ブロックとして再利用させる為に必要な諸物性についての検討を行った。著者らによる既往の研究より、還元スラグ混入による急結及び膨張反応を抑制し、目標強度を満足させる配合を選定して、消波ブロックを製作し海中暴露試験を行った。また既に報告している、還元スラグの六価クロム（以下、Cr<sup>6+</sup>）溶出抑制に関しても更なる検討を行った。

**キーワード**：リサイクル、還元スラグ、鋳物灰、六価クロム、溶出の抑制

## 1. はじめに

本研究では、新潟県中越地区の最終処分場において、現在埋め立て処分されている産業副産物の還元スラグと鋳物灰に着目し、これらをコンクリート材料として多量に使用して、消波ブロックを製造する為の研究を行ってきている。

還元スラグとは、廃鉄を電気炉精錬する際、還元工程から発生する副産物である。又、鋳物灰とは、鋳造工場で鋳物を製造する際に発生する煤塵を集塵機で回収した物である。これらは新潟県中越地区だけで、還元スラグは約18000t/年、鋳物灰は約5000t/年排出されている。

これまでの研究において、還元スラグはセメントとの混合により急結反応を引き起こし、コンクリートに混入した場合は、養生中に膨張する事が分かっている。これに対し著者らは、石膏を少量添加する事により急結反応を抑制し、シリカ質材料として鋳物灰を適量混入する事で、膨張反応を抑制できる事を確認している。

本実験では既往の研究を参考に、消波ブロックを想定した配合を選定して、実寸大ブロック試験体を製作し、これを海中に設置して、実海域での暴露試験を行った。この他、著者らによって明らかにされている、還元スラグのCr<sup>6+</sup>溶

出抑制効果についても更なる検討を行った。

## 2. 使用材料

使用材料の物性値を表-1に示す。還元スラグ、鋳物灰の構成成分を表-2に、重金属の溶出試験の結果を表-3に示す。尚、産業副産物は、排出日時により物性値が大きく異なる為、構成成分及び溶出試験結果は、代表的な値を示した。又、溶出試験は環境庁告示第46号法に準拠して行った。表-3より、基準値以上の溶出が見られるが、この値は研究の中でも最も多い部類に入り、通常は基準値以下の場合が多い。

表-1 使用材料の物性値

| 粉体種類                                     | 密度 (g/cm <sup>3</sup> )  | 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g) |            |
|--|--------------------------|---------------------------|------------|
| 普通ポルトランドセメント(C)                          | 3.15                     | 3300                      |            |
| 還元スラグ(RS)                                | 3.03~3.06                | 1340                      |            |
| 鋳物灰(Ash)                                 | 2.53~2.54                | 1660                      |            |
| 石膏(CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) | 2.41                     | 3500                      |            |
| 石灰石微粉末(LS)                               | 2.65                     | 4000                      |            |
| 混和剤                                      |                          | 主成分                       |            |
| AE剤(AE)                                  | アルキルアリルスルホン化合物系陰イオン界面活性剤 |                           |            |
| AE減水剤(WR)                                | リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体     |                           |            |
| 骨材種類                                     | 密度 (g/cm <sup>3</sup> )  | 吸水率 (%)                   | 粗粒率 (F.M.) |
| 細骨材 (川砂S)                                | 2.55~2.57                | 2.54                      | 2.65       |
| 粗骨材 (川砂利G)                               | 2.72                     | 1.49                      | 7.08       |

\*1 中越環境開発株式会社 研究開発 (正会員)  
 \*2 長岡技術科学大学 工学部 環境・建設系 教授 Ph.D (正会員)  
 \*3 緑物産株式会社 会長 工博

### 3. 配合条件及び目標品質

目標とするコンクリートの配合条件及び諸物性は以下のように定めた。

- (1)単位セメント量は  $250\text{kg/m}^3$  とする。
- (2)産業副産物混入量は  $1000\text{kg/m}^3$  とする。
- (3)圧縮強度は消波ブロックの設計基準強度 ( $f'_{ck28}=18\text{N/mm}^2$ )を考慮し<sup>2)</sup>、割増係数 1.2 を乗じて  $f'_{ck28}=22\text{N/mm}^2$  以上とする。
- (4)有害物質の溶出は許容限界値以下とする。

### 4. 諸物性の確認及び消波ブロックの製作

#### 4.1 実験要因

既往の研究をもとに、還元スラグ鋳物灰混入コンクリート(以下、RSA)を用いた消波ブロックを製作した。製作に際しては、実験室にて供試体を作製し、事前に諸物性を確認した後に、プラントにて消波ブロック製作を行った。

#### 4.2 試験方法

消波ブロックを想定した配合を選定し、室内実験にて円柱供試体( $\phi 100 \times 200\text{mm}$  及び  $\phi 200 \times 400\text{mm}$ )を作製して、気中( $20^\circ\text{C}$ , R.H50%)及び水中( $20^\circ\text{C}$ )にて 28 日間養生した後、圧縮及び引張強度を測定した。又、気中養生供試体については、実験海域管轄の国土交通省第一港湾局と協議の結果、28 日間気乾養生した供試体を、同体積の水に 1 週間浸した溶液にて試験を行う事とし、判定基準としては海防法を適用した<sup>3)</sup>。尚、比較用として普通コンクリート(以下、NC)についても供試体を作製し、同様の試験を行った。配合を表-4 に示す。尚、これまでの研究において、鋳物灰を混入したコンクリートに無機塩を添加する事で、強度及び流動性が改善される事が確認されている為<sup>4)</sup>、本配合の RSA においても、強度改善を目的に無機塩を添加した。

消波ブロックの製作は、室内試験と同じ配合を用いてプラントにて行った。形状はテトラポット型とし、2t型( $0.8\text{m}^3$ )を各 2 体ずつ製作した。

ブロックは 28 日間屋外にて養生した後、日本海近海に設置し、約 1 年半に渡り暴露試験を行った。尚、養生期間中の屋外気温は  $21 \sim 28^\circ\text{C}$ 、

暴露期間中の海水温は  $6.4 \sim 30^\circ\text{C}$  であった。

表-2 産業副産物の構成成分

| 産業副産物<br>種類 | 単位(%) |     |                                |                                |                  |      |
|-------------|-------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|
|             | CaO   | MgO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | C    |
| 還元スラグ       | 53.7  | 7.0 | 0.9                            | 6.0                            | 26.1             | 0.04 |
| 鋳物灰         | 0.2   | 0.6 | 18.6                           | 1.8                            | 68.5             | 1.79 |

表-3 産業副産物の溶出試験結果

| 産業副産物<br>種類 | 単位(%) |      |      |                  |       |       |
|-------------|-------|------|------|------------------|-------|-------|
|             | Hg    | Pb   | Cd   | Cr <sup>6+</sup> | As    | Se    |
| 還元スラグ       | ND    | ND   | ND   | ND               | ND    | 0.014 |
| 鋳物灰         | ND    | 0.05 | ND   | ND               | 0.011 | ND    |
| 環境基準        | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.05             | 0.01  | 0.01  |

ND：検出限界値以下

表-4 消波ブロック選定配合

| 供試体名 | W/C (%) | W/P (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     |    |
|------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|      |         |         | W                       | C   | RS  | Ash | S   | G   | 石膏 |
| NC   | 57      | 57      | 143                     | 250 | 0   | 0   | 814 | 167 | 0  |
| RSA  | 137     | 27      | 342                     | 250 | 500 | 500 | 99  | 316 | 15 |

AE：C×0.002%添加，WR：C×0.5%添加  
W/PのPはC，RS，Ash，石膏の紛体を表す  
C+RS+Ash重量に乗じてRSAに無機塩を3%添加

表-5 選定配合による室内試験結果

| 供試体名 | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 養生条件 | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|------|-----------|---------|------|---------------------------|---------------------------|
| NC   | 60        | 34      | 気中養生 | 275                       | 230                       |
|      |           |         | 水中養生 | 299                       | 241                       |
| RSA  | 50        | 25      | 気中養生 | 246                       | 183                       |
|      |           |         | 水中養生 | 258                       | 184                       |

表-6 選定配合によるコンクリート溶出結果

| 検査項目  | 単位   | NC   | RSA   | 海防法<br>水底土砂<br>基準 |
|-------|------|------|-------|-------------------|
| 総鉛    | mg/l | ND   | ND    | 0.005             |
| カドミウム | mg/l | ND   | ND    | 0.1               |
| 鉛     | mg/l | ND   | ND    | 0.1               |
| 六価クロム | mg/l | 0.05 | ND    | 0.5               |
| 砒素    | mg/l | ND   | 0.007 | 0.1               |
| 全アン   | mg/l | ND   | ND    | 1.0               |
| 銅     | mg/l | ND   | ND    | 3.0               |
| 亜鉛    | mg/l | ND   | ND    | 5.0               |
| フッ化物  | mg/l | ND   | 3.6   | 15.0              |
| ベリリウム | mg/l | ND   | ND    | 2.5               |
| 全クロム  | mg/l | 0.06 | 0.04  | 2.0               |
| ニッケル  | mg/l | ND   | ND    | 1.2               |
| バリウム  | mg/l | ND   | ND    | 1.5               |
| セレン   | mg/l | ND   | 0.011 | 0.1               |

ND：検出限界値以下

### 4.3 実験結果及び考察

室内試験での試験結果を表-5 に、溶出試験

結果を表-6 に示す。表より、RSA において、目標の  $22\text{N/mm}^2$  以上の強度と、許容限界値以下の溶出結果が確認された。この結果を踏まえて、同配合にて消波ブロックを製作した。消波ブロック製作状況を写真-1、-2 に示す。

## 5 実海域での暴露試験

### 5.1 実験要因

海中へ設置した実験用消波ブロックについて、経時的な強度変化を調査した。

### 5.2 試験方法

ブロック製作時に、同コンクリートで円柱供試体( $\phi 100 \times 200\text{mm}$ )を取り、これをブロックと同時に海中及び、 $20^\circ\text{C}$ の水中へ設置した。その後、海中設置供試体は 20 週目、47 週目に、 $20^\circ\text{C}$  水中の供試体は 4 週目に回収し、圧縮強度を測定した。消波ブロックは、海中設置 1 年 7 ヶ月後に回収し、劣化具合を観察すると共に、表面 5cm 深よりコア供試体を採取し、圧縮強度を測定した。

### 5.3 実験結果及び考察

海中設置供試体の経時的強度変化を図-1 に示す。尚、図中の 4 週目強度は水中( $20^\circ\text{C}$ )養生の値であり、海中養生は 4 週目以降となる。図より、海中設置前  $8\text{N/mm}^2$  以上あった RSA と NC の強度差が、20 週目、47 週目には同程度にまでなっている。

コンクリートの海水劣化原因の一つとしてあげられるセメント水和物の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  は、海水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  の浸透を受け、可溶性の石膏及び  $\text{CaCl}_2$  になり、これが溶け出す事で、硬化体が多孔化し脆弱化を招く<sup>5)</sup>。これに対し  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  を減少させる働きをするポゾラン材料の混合は、有効な手段の一つとされるが、本試験の場合、RSA 中の鋳物灰がポゾラン材料の様な働きをした為に、ある程度の劣化が防げたのではないかと推測される。但し、ここでは SEM 画像等の回折を行っていない為、詳細は不明である。

回収した消波ブロックを写真-3、-4 に、コア供試体の圧縮強度を表-7 に示す。回収した



写真-1 ブロック養生状況



写真-2 ブロック海中設置

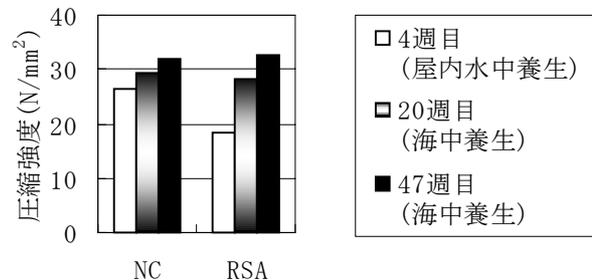


図-1 海中設置供試体の圧縮強度経時変化



写真-3 NC消波ブロック



写真-4 RSA消波ブロック

表-7 消波ブロックコア供試体圧縮強度

| 供試体名            | 圧縮強度( $\text{N/mm}^2$ ) |
|-----------------|-------------------------|
| NC 消波ブロックコア供試体  | 31.6                    |
| RSA 消波ブロックコア供試体 | 22.1                    |

RSA ブロックは、大きな破損やひび割れもなく、NC と見比べても遜色はない。

コア供試体の強度について、図-1 に示す 47 週目強度と比較すると、NC は差が少ないのに対して、RSA ではコア供試体が  $10\text{N/mm}^2$  近く低くなっている。波から受ける衝撃を考えた場合、供試体及びブロックに掛かる負荷は、後者の方が大きいと考えられるが、表-5 で示す通り、NC に比べ RSA の引張強度は必ずしも高い値ではない。この波の衝撃の違いとそれに耐える引張強度の違いが、結果として先述の強度差に表れたものと考えられる。本研究のコンクリートは、排出される産業副産物物性のバラツキを考慮し、セメント量を少なく、産業副産物混入量を多くした、より厳しい条件の配合で行っている。回収したブロックは外見上、破損等

は見られなかったが、長期の海中設置を考えれば、更なる強度改善の余地はあり、配合の再考を含め、更に検討を行っていく予定である。

## 6 還元スラグの六価クロム溶出抑制効果

### 6.1 実験要因

近年、セメントあるいはセメント系固化材による地盤改良等において、改良硬化体からの $\text{Cr}^{6+}$ の溶出が問題となるケースのある事が知られるようになってきている。これに対し、旧建設省からは、2000年3月「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」<sup>6)</sup>といった通達が出され、地盤改良の配合設計時と施工後に、環境庁告示第46号法による溶出試験を行う事としており、軽視できない問題の一つとなっている。

これに対し、著者らは既往の研究において、還元スラグには $\text{Cr}^{6+}$ 溶出を抑制する効果があり、表-4に示す配合においては、溶出がみられない事を既に確認している<sup>7)</sup>。

本研究は、産業副産物をコンクリート材料として多量に使用する事を目的に研究を行っているが、 $\text{Cr}^{6+}$ 溶出に着目した場合、セメントに対して還元スラグをどの程度加えれば、溶出抑制できるのか確認する必要がある。そこでセメントに対して、還元スラグ混入量を変化させた場合の、 $\text{Cr}^{6+}$ 溶出抑制効果について検討を行った。

### 6.2 試験方法

セメント、還元スラグを混合したペースト供試体を作製し、28日間気中(20°C, RH50%)にて養生させた後、2mm以下に粉砕し、環境庁告示第46号法に準拠して $\text{Cr}^{6+}$ の溶出量を調べた。尚、比較用に還元スラグを石灰石微粉末で置換した供試体についても、同様の試験を行った。

供試体は、セメント容積に対して同容積の還元スラグ及び石灰石微粉末を混合した物、セメント容積に対して、半分の容積の還元スラグ及び石灰石微粉末を混合した物を、各5検体づつ、

計4種類作製した。又、試験を行うにあたり、使用原料についても、事前に $\text{Cr}^{6+}$ 溶出量を調べた。使用材料の溶出試験結果を表-8に、検討配合を表-9に、溶出結果を表-10に示す。尚、表のCは普通ポルトランドセメント、LSは石灰石微粉末、RSは還元スラグをそれぞれ示す。

### 6.3 実験結果及び考察

表-8より、使用材料中でセメントのみ $\text{Cr}^{6+}$ 溶出がみられる。セメント中の $\text{Cr}^{6+}$ に関して宇賀神らは、原料中に含まれる $\text{Cr}^{3+}$ の一部が、酸化雰囲気下の焼成工程で、酸化されて $\text{Cr}^{6+}$ になると報告している<sup>7)</sup>。製造過程で焼成されるセメントにとっては、必然といえる現象である。

表-10より、比較用の石灰石微粉末の検体から、環境基準値以下であるが $\text{Cr}^{6+}$ が検出されているのに対し、還元スラグを混入した検体からは溶出が見られず、セメントに対して半分の還元スラグを混合すれば、 $\text{Cr}^{6+}$ 溶出が抑制できる事が確認できる。このことから本研究のように、還元スラグを多量に混合したコンクリートの $\text{Cr}^{6+}$ 溶出は極めて少ないと考えられる。

表-8 使用材料の溶出試験結果

| 原料名             | $\text{Cr}^{6+}$ 溶出量(mg/l) |
|-----------------|----------------------------|
| 普通ポルトランドセメント(C) | 0.52                       |
| 還元スラグ(RS)       | 検出限界値以下                    |
| 鋳物灰(Ash)        | 検出限界値以下                    |
| 石灰石微粉末(LS)      | 検出限界値以下                    |

表-9  $\text{Cr}^{6+}$ 溶出抑制効果検討配合

| 供試体名       | W/C<br>% | W/P<br>% | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |
|------------|----------|----------|-------------------------|------|-----|-----|
|            |          |          | W                       | C    | RS  | LS  |
| C:LS=1:1   | 45       | 24       | 415                     | 922  | 0   | 775 |
| C:RS=1:1   | 45       | 23       |                         |      | 887 | 0   |
| C:LS=1:0.5 | 45       | 32       | 486                     | 1080 | 0   | 454 |
| C:RS=1:0.5 | 45       | 30       |                         |      | 519 | 0   |

表-10  $\text{Cr}^{6+}$ 溶出抑制効果結果

| 供試体名       | 単位   | 検体 No |      |      |      |      |
|------------|------|-------|------|------|------|------|
|            |      | No1   | No2  | No3  | No4  | No5  |
| C:LS=1:1   | mg/l | 0.03  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| C:RS=1:1   | mg/l | ND    | ND   | ND   | ND   | ND   |
| C:LS=1:0.5 | mg/l | 0.03  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| C:RS=1:0.5 | mg/l | ND    | ND   | ND   | ND   | ND   |

ND：検出限界値以下

## 7 還元スラグ単体での六価クロム溶出抑制効果

### 7.1 実験要因

既往の研究として高橋らは、コンクリートからの  $\text{Cr}^{6+}$  溶出に関して、セメントの  $\text{Cr}^{6+}$  固定能力について触れ、大半の  $\text{Cr}^{6+}$  はセメント水和物に固定されてしまい、ほとんど溶出されないと報告している<sup>8)</sup>。

ここで、前節の試験をみると、還元スラグとセメントの硬化体による試験である為、高橋らの報告のように、硬化する事でセメント水和物中に  $\text{Cr}^{6+}$  が固定され、溶出されにくくなった可能性がある。そこで還元スラグ単体での  $\text{Cr}^{6+}$  溶出抑制効果を確認する為、 $\text{Cr}$  酸溶液に還元スラグを添加し、 $\text{Cr}$  酸濃度の変化を観察した。

### 7.2 試験方法

純水 1000ml に  $\text{Cr}$  酸試薬であるクロム酸カリウムを溶かして、 $\text{Cr}$  酸濃度を 10mg/l とし、これに添加量を変化させた還元スラグを加え、10 分間攪拌した後に、水溶性全  $\text{Cr}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$  及び pH の測定を行った。

### 7.3 実験結果及び考察

図-2 に還元スラグ添加量と  $\text{Cr}$  酸濃度の関係を示す。尚、図中の全  $\text{Cr}$  は pH が高い事から、大部分が  $\text{Cr}^{6+}$  の状態にあると考えられる。図よりスラグの添加量が増加するに従い、全  $\text{Cr}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$  ともに低下していき、添加量 100g 付近で  $\text{Cr}$  酸がみられなくなるのが分かる。

$\text{Cr}^{6+}$  低下の原因について、 $\text{Cr}^{6+}$  は強酸化性を有する事で知られているが、これは還元剤と反応して、自らが還元されやすい事を示しており、適当な還元剤が存在すれば、 $\text{Cr}^{6+}$  は  $\text{Cr}^{3+}$  等に還元される事になる。そこで還元スラグに含まれている還元剤の可溶性硫黄について、他のスラグ類との含有量比較を行った。比較の対象としては、高炉水砕スラグと高炉徐冷スラグを用い、可溶性硫黄である  $\text{S}$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SO}_4$  について測定を行った。結果を図-3 に示す。

図より、可溶性硫黄のうち、還元剤としての効果の高い  $\text{S}$  及び  $\text{S}_2\text{O}_3$  の量について比較する

と、高炉徐冷スラグが最も多く、ついで還元スラグ、高炉水砕スラグの順に低くなっている。また、還元スラグに含まれる  $\text{S}$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3$  の量は、 $\text{Cr}^{6+}$  溶出を抑制する還元剤としては、十分な量とはいえない事が分かる。

$\text{Cr}^{6+}$  の強酸化力は、pH が酸性で速やかに反応し、アルカリ性では非常に緩慢になるが<sup>9)</sup>、図-2 でみられた溶出抑制反応は、pH13 付近であるにも関わらず、非常に速い反応である。また、 $\text{Cr}^{6+}$  が  $\text{Cr}^{3+}$  等に還元されたのであれば、 $\text{Cr}^{6+}$  のみ減少し、全  $\text{Cr}$  には変化はないはずであるが、図-2 では、 $\text{Cr}^{6+}$  と全  $\text{Cr}$  の両方が減少しているのが分かる。

以上の事から、 $\text{Cr}^{6+}$  は還元スラグの還元剤としての作用によって、 $\text{Cr}^{3+}$  等に還元されたのではなく、 $\text{Cr}^{6+}$  の状態のまま固定化されるような形で、溶出抑制されたものと考えられる。

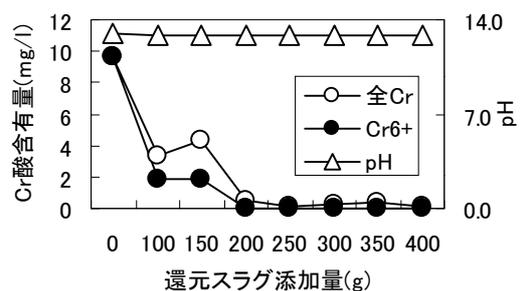


図-2 還元スラグ添加量と  $\text{Cr}$  酸の濃度変化

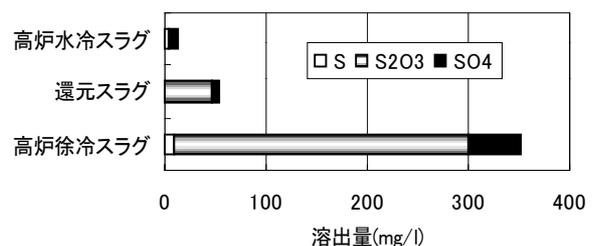


図-3 各スラグの可溶性硫黄含有量

## 8 還元スラグの六価クロム溶出抑制比較

### 8.1 実験要因

前節の結果より、還元スラグが  $\text{Cr}^{6+}$  固定能力を有する可能性が出てきた。本研究としては副産物再利用の観点から、この能力がどの位の効果を持つのか確認しておく必要がある為、還元スラグの  $\text{Cr}^{6+}$  固定能力について、セメントとの

比較を行った。

## 8.2 試験方法

50mg/l に調整した Cr 酸溶液 50ml に、1g のサンプルを添加し、5 分後、6 時間後、24 時間後に Cr<sup>6+</sup>濃度を測定した。

サンプルとしては還元スラグの他、比較用として、普通ポルトランドセメント、高炉セメント(B 種)、Alite、Belite を用いた。

## 8.3 実験結果及び考察

図-4 に各サンプルの Cr<sup>6+</sup>溶出抑制効果の結果を示す。尚、図中の OPC は普通ポルトランドセメントを、高炉 B 種は高炉セメント(B 種)を示す。

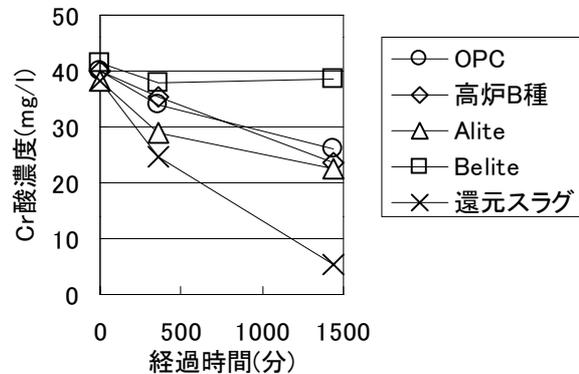
図より、測定開始 5 分後では、各サンプルの差は殆ど見られないが、6 時間後では、サンプルごとの Cr<sup>6+</sup>濃度の差が顕著に現れ、24 時間後では還元スラグが、他のサンプルと比較して著しく Cr<sup>6+</sup>濃度が減少しているのが確認できる。

以上の事から、Cr<sup>6+</sup>溶出抑制に関して還元スラグの効果は高いと考えられ、加えてこれが現在も廃棄処分されている産業副産物である事を考えれば、利用価値は大きいといえる。

## 9. まとめ

- (1) 還元スラグと珪物灰を多量に混入したコンクリートに関して、安全性を考え、強度増加等に改善の余地はあるが、これを用いて製作した消波ブロックは、1年7ヶ月の間、海中に設置しても形状等に変化が見られない事から、消波ブロックとして利用できる可能性は大きいと考えられる。
- (2) セメント容積に対して半分の還元スラグを混入すれば、Cr<sup>6+</sup>溶出を抑制する事ができる。このため本研究のように、還元スラグを多量に混入したコンクリートについては、Cr<sup>6+</sup>溶出の危険性は極めて少ない。
- (3) 還元スラグは単体であっても、Cr<sup>6+</sup>を抑制する。またこの際、Cr<sup>6+</sup>は Cr<sup>3+</sup>等に還元されるのではなく、Cr<sup>6+</sup>の状態では抑制されていると推測される。

- (4) 還元スラグは Cr<sup>6+</sup>溶出抑制に関して、普通ポルトランドセメント等よりも効果が高く、これが産業副産物である事を考えれば、利用価値は大きいといえる。



## 参考文献

- 1) 木村仁ほか：粉体状産業副産物を用いたコンクリートの特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1371-1376，2000
- 2) 第一港湾局：第一港湾局コンクリート品質基準，1988
- 3) 運輸省第二港湾建設局横浜調査事務所：FSコンクリート利用手引書，沿岸環境開発資源利用センター，1999
- 4) 桜井邦昭ら：珪物灰を多量に混入したコンクリートの圧縮強度特性，土木学会年次講演会講演概要集，V-12，pp.24-25，1999
- 5) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧，第二版，技報堂出版，1996
- 6) セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について，建設省，2000.3
- 7) 宇賀神尊信：セメントに含まれる微量成分の環境への影響，コンクリート工学，Vol.39，No.4，pp.14-19，2001
- 8) 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，No.640，pp.20-29，2000
- 9) 産業環境管理協会：公害防止の技術と法規水質編，1999