

論文 亜鉛製錬時に副産されるスラグを用いたコンクリートの圧縮強度・塩分浸透抵抗性および放射線遮蔽性

佐川 康貴*1・近田 孝夫*2・大石 保*3・酒井 俊男*4

要旨: 本研究では、産業副産物から粗酸化亜鉛を製錬する際に副産されるスラグ（以下、亜鉛スラグと称する）を用いたコンクリートについて、長期圧縮強度、塩分浸透抵抗性および放射線遮蔽性に関する研究を行った。その結果、塩分浸透抵抗性については、亜鉛スラグ置換率に関わらず普通コンクリートとほぼ同等の塩分浸透抵抗性であった。放射線を用いた試験においては、亜鉛スラグの置換率が高い、つまりコンクリートの密度が大きくなるほど遮蔽性能が向上することが分かった。さらに、 γ 線透過率の常用対数比と、コンクリートの密度と版厚の積に比例関係があることが分かった。

キーワード: 副産物, 亜鉛スラグ, 圧縮強度, 塩分浸透抵抗性, 放射線遮蔽性

1. はじめに

現在、骨材資源の枯渇化と資源の有効利用という観点から、スラグ骨材の有効利用が求められている。現在コンクリート用骨材として、高炉スラグ、フェロニッケルスラグ、銅スラグ、電気炉酸化スラグについては JIS において品質などが規定されているが (JIS A 5011-1~4), その利用については一部に限られている。また、産業副産物から粗酸化亜鉛を製錬する際に副産されるスラグ (以下、亜鉛スラグと称する) (写真-1) のように、他のスラグに比較して発生量が少なく、骨材として有効利用されていない材料もある。亜鉛スラグを国内でコンクリート用細骨材として使用することで、亜鉛スラグの有効利用と、天然骨材に代わる代替骨材の安定確保という 2 つの課題の解決に繋がると考えられる。

スラグ骨材を用いたコンクリートは一般に単位体積重量が普通コンクリートに比べ大きくなるため、重量コンクリートとしての利用が期待される。重量コンクリートは、護岸・消波を目的とした海洋・河川構造物として使用されることが多い。また、東日本大震災による原発事故により、放射線に汚染された瓦礫が発生し、その処理が問題となっており、放射線の遮蔽壁などとして重量コンクリートの使用が求められている。これらのことから、亜鉛スラグを用いたコンクリートも重量コンクリートとして有効利用することができる可能性がある。

既に筆者らは、既往の研究¹⁾において、亜鉛スラグを用いたコンクリートのブリーディング、圧縮強度、乾燥収縮および中性化性状について明らかにしている。本研究では亜鉛スラグを用いたコンクリートに関するさらなる検討を行うため、細骨材に対する亜鉛スラグの置換

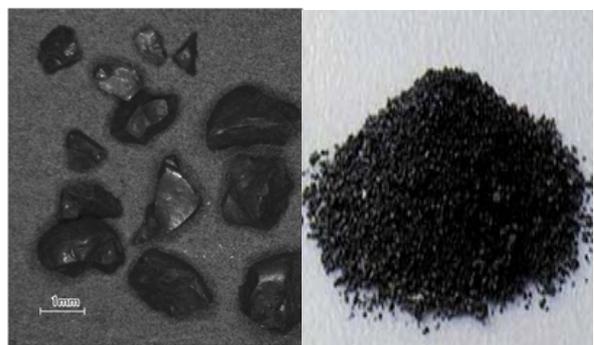


写真-1 亜鉛スラグの形状

率を変化させた場合のコンクリートを作製し、長期の圧縮強度、塩分浸透性および放射線遮蔽性の検討を行い、護岸・消波用コンクリートおよび放射線遮蔽コンクリートとしての性能を検討した。

2. 亜鉛スラグの基礎性状

本研究で使用した亜鉛スラグの物理的性質および化学的性質は以下の通りである。

2.1 亜鉛スラグの物理的性状

亜鉛スラグの代表的サンプルについて、コンクリート用骨材としての各種試験 (密度, 吸水率, 単位容積質量, 実積率および粗粒率) を行った結果を表-1 に、ふるい分け試験の結果を図-1 に示す。また、比較用として、本研究で用いた海砂の試験結果も同様に示す。なお、異なる時期に採取した 3 つのサンプルの試験結果のばらつきは、絶乾密度については 3.7~3.8g/cm³, 吸水率は 0.5~0.8% 程度であった。密度については、JIS A 5005 および JIS A 5011 に規定された下限値 (2.5g/cm³) よりも大幅に上回

*1 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 准教授 博士 (工学) (正会員)

*2 (株) 麻生 建設コンサルティング事業部 シニアマネージャー 博士 (工学) (正会員)

*3 三池製錬 (株) 管理部 部長

*4 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (学生会員)

った。また、他のスラグ骨材、例えば銅スラグの一般的な密度 (3.4~3.7 g/cm³)²⁾ と比較しても大きい。

図-1 から、亜鉛スラグの粒度は海砂に比べ微粒分が少なく 0.6mm 以上の粒子が多いため、JIS に規定されている砕砂の標準粒度 (図中の破線) から外れることが分かった。しかし、亜鉛スラグを海砂に対して、体積比で 30% および 50% 混和した混合砂の粒度分布は、砕砂の粒度分布に収まることが分かった。

2.2 亜鉛スラグの化学的性状

本研究で使用した亜鉛スラグの平均的な化学成分を表-2 に示す。表-2 から、亜鉛スラグは Fe を約 34% 含有しており、密度が大きい原因となっていると考えられる。また、全体の約 40% を SiO₂, Al₂O₃, CaO が占めている。亜鉛スラグの環境安全性を確認するために、溶出量試験および含有量試験を行った。その結果をそれぞれ表-3、表-4 に示す。

溶出量試験は、JIS K 0058-1「スラグ類の化学物質試験方法-第一部：溶出量試験方法」に準拠して行った。亜鉛スラグを一定量採取し、その 10 倍量の溶媒 (水) を加えて毎分約 200 回で 6 時間攪拌して化学物質を溶出させて検液を調製し、この検液中の化学物質の濃度を測定し、試料からの化学物質の溶出量を求めた。含有量試験は JIS K 0058-2「スラグ類の化学物質試験方法-第二部：含有量試験方法」に準拠して行った。ここでの「含有量」とは、1mol/L の塩酸で抽出される量のことであり、亜鉛スラグを粗砕し、溶媒に対する試料の質量体積比が 3% となるように 1mol/L 塩酸などの溶媒を加えて、毎分約 200 回で 2 時間振とうして検液を調製し、検液中の化学物質の濃度を測定することで試料中の含有量を求めた。両試験

において、溶出量基準を超えるものはなく、亜鉛スラグは環境安全性を懸念するような結果ではなかった。

3. 圧縮強度試験

3.1 実験概要

既往の研究¹⁾において、亜鉛スラグを用いたコンクリ

表-1 骨材試験結果

| 項目 | 亜鉛スラグ | 海砂 |
|--------------------------|-------|------|
| 表乾密度(g/cm ³) | 3.71 | 2.58 |
| 絶乾密度(g/cm ³) | 3.69 | 2.54 |
| 吸水率(%) | 0.52 | 1.72 |
| 単位容積質量(kg/l) | 2.28 | 1.68 |
| 実積率(%) | 61.8 | 66.0 |
| 粗粒率 | 3.22 | 2.57 |

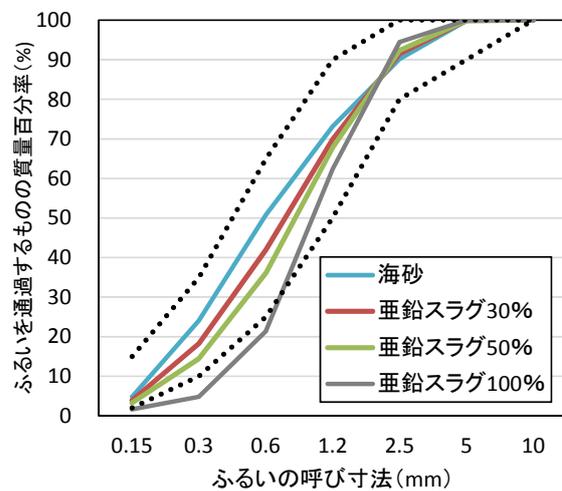


図-1 ふるい分け試験結果

表-2 化学組成 (%)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe | Zn | Mg | Mn | Na | K | S | P | Pb | Cu | |
|------------------|--------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 19.24 | 6.82 | 16.33 | 34.38 | 1.57 | 2.38 | 2.85 | 0.97 | 0.15 | 2.58 | 0.60 | 0.018 | 0.393 | |
| Cd | As | Cl | Ag | Au | F | Ni | Cr | Sn | Mn | B | Hg | Sb | Se |
| - | - | 0.032 | 25.0 | 0.10 | 0.110 | 0.058 | 0.358 | 0.025 | 2.853 | 0.065 | - | 0.028 | - |

表-3 溶出量試験結果

| 分析項目 | カドミウム (mg/L) | 六価クロム (mg/L) | 総水銀 (mg/L) | セレン (mg/L) | 鉛 (mg/L) | 砒素 (mg/L) | フッ素 (mg/L) | ホウ素 (mg/L) |
|-------|--------------|--------------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|
| 亜鉛スラグ | 0.001 | ND | ND | 0.003 | ND | ND | 0.17 | ND |
| 定量下限値 | 0.001 | 0.02 | 0.0005 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.08 | 0.1 |
| 溶出量基準 | 0.01 | 0.05 | 0.0005 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.8 | 1 |

(ND は定量下限値以下を表す。)

表-4 含有量試験結果

| 分析項目 | カドミウム (mg/kg) | 六価クロム (mg/kg) | 総水銀 (mg/kg) | セレン (mg/kg) | 鉛 (mg/kg) | 砒素 (mg/kg) | フッ素 (mg/kg) | ホウ素 (mg/kg) |
|-------|---------------|---------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| 亜鉛スラグ | ND | ND | ND | ND | 53 | 3 | 1300 | 640 |
| 定量下限値 | 2 | 1 | 0.1 | 1 | 15 | 1 | 5 | 5 |
| 溶出量基準 | 150 | 250 | 15 | 150 | 150 | 150 | 4000 | 4000 |

(ND は定量下限値以下を表す。)

ートの圧縮強度の検討を行ったが、試験材齢が長期になるにしたがい、亜鉛スラグを用いた配合の強度増進が大きいことが明らかとなった。そこで、さらに長期の圧縮強度性状を検討した。

表-5 に本章での使用材料を示す。セメントには普通ポルトランドセメントを、普通細骨材には海砂を、粗骨材には砕石 2005 を用いた。

コンクリートの配合は、目標スランブ $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ 、水セメント比 W/C は 55% とし、亜鉛スラグ置換率 R を、細骨材に対して体積比で 0, 30, 50, 100% とした。また、AE 減水剤は使用セメント量に対して 0.25% とした。

配合の選定は、まず単位水量および AE 剤の量を変化させ、目標としたスランブ $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ および空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を得た。続いて、その単位水量において細骨材率を変動させ、最もスランブが大きくなった細骨材率を最適細骨材率とし、示方配合を決定した。決定した配合およびスランブ、空気量測定結果を表-6 に示す。配合選定の結果、亜鉛スラグ置換率 100% の配合では単位水量 170kg/m^3 では目標スランブを得られなかったため、単位水量を 175kg/cm^3 とした。

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠し、表-6 に示す配合で行った。供試体は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体とし、試験材齢は 3, 7, 28, 91 日および 1 年とした。さらに、同時にコンプレッソメーターを用いてひずみを測定し、静弾性係数を算出した。

3.2 圧縮強度試験結果

既往の研究¹⁾にて、亜鉛スラグを使用したコンクリートは、普通コンクリートに比べ、初期材齢 (3, 7 日) の強度は劣るものの、材齢 28 日, 91 日においてはほぼ同等となることが明らかになっていた。図-2 に、既往の研究での 91 日までの圧縮強度と、今回行った材齢 1 年での圧縮強度試験結果を示す。図から、亜鉛スラグを用いたコンクリートの強度は材齢 91 日までは同程度であったのに対し、材齢 1 年では普通コンクリートを上回る結果となり、亜鉛スラグ置換率が大きいほど、圧縮強度も大きくなるという結果となった。原因としては亜鉛スラグが潜在水硬性を持つことが考えられるため、鉱物組成など詳しく調べる必要がある。

4. 塩分浸透抵抗性

4.1 実験概要

本章では、亜鉛スラグを用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性を調べるため、塩分浸漬試験と、電気泳動試験を行った。各試験は、表-6 に示す配合について行った。

4.2 塩分浸漬試験

$\phi 100 \times 200$ の円柱型コンクリートを作製し、28 日水

表-5 使用材料

| 使用材料 | 記号 | 詳細 |
|--------|----|--|
| セメント | C | 普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3) |
| スラグ細骨材 | Zn | 亜鉛スラグ(表乾密度 3.71g/cm^3 , 吸水率 0.52%) |
| 普通細骨材 | S | 海砂(表乾密度 2.58g/cm^3 , 吸水率 1.72%) |
| 普通粗骨材 | G | 結晶片岩砕石2005(表乾密度 2.85g/cm^3 , 吸水率 0.72%) |
| AE減水剤 | Ad | AE減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体) |
| AE剤 | AE | AE剤(アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤) |

表-6 コンクリートの示方配合

| 配合名 | R(%) | s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | AE | スランブ(cm) | 空気量(%) |
|--------|------|---------|-------------------------|-----|-----|------|------|----------|----------|--------|
| | | | W | C | S | Zn | G | | | |
| 55-0 | 0 | 47 | 170 | 309 | 833 | 0 | 1038 | C*0.003% | 9.5 | 4.9 |
| 55-30 | 30 | 48 | 170 | 309 | 593 | 376 | 1014 | C*0.001% | 8.5 | 4.8 |
| 55-50 | 50 | 47 | 170 | 309 | 417 | 597 | 1038 | C*0.001% | 9.5 | 5.1 |
| 55-100 | 100 | 47 | 175 | 318 | 0 | 1177 | 1030 | 0 | 9.5 | 5.4 |

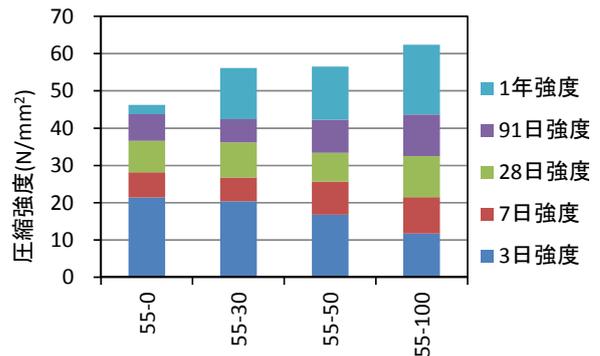


図-2 圧縮強度試験結果

表-7 浸漬試験結果

| 配合名 | 表面塩化物イオン濃度 (kg/m ³) | | 見掛けの拡散係数 (cm ² /year) | |
|--------|---------------------------------|-------|----------------------------------|------|
| | 浸漬期間(カ月) | | | |
| | 3 | 6 | 3 | 6 |
| 55-0 | 13.38 | 15.11 | 2.25 | 3.17 |
| 55-30 | 12.67 | 14.76 | 2.04 | 3.23 |
| 55-50 | 12.89 | 15.79 | 2.45 | 2.97 |
| 55-100 | 12.03 | 12.46 | 2.61 | 3.18 |

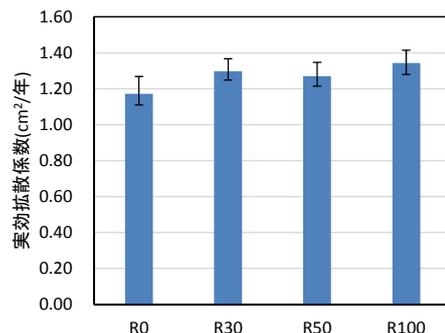


図-3 電気泳動試験結果

中養生後、高さ中心部で切断し2つに分けたものを一つの供試体とし、各要因3体平均とした。また、切断面以外の面をエポキシ樹脂でコーティングし、切断面のみから塩化物イオンが侵入するようにした。その後、塩分濃度10%、温度20℃の塩水に浸漬した。浸漬期間は3か月、6か月とした。所定の浸漬期間を終えた供試体を、浸漬面から1cm幅で3cmまで切り出し、粉砕機で粉体にした。試料に硝酸を加え塩化物イオンを抽出し、ろ過により余分なものを取り除いた後、電位差測定装置により塩化物イオン量を調べた。その後、JSCE-G572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験法(案)」に従い、見掛けの拡散係数を算出した。試験結果を表-7に示す。浸漬期間によらず、見掛けの拡散係数はほぼ同等の値であったが、亜鉛スラグを用いた配合の方が大きな値をとるものもあった。

4.3 電気泳動試験

φ100×200の円柱型コンクリートを作製し、28日水中養生後、円柱供試体の両端面から25mmの部分を除き、残った部分から厚さ50mmの円盤型供試体を切り出した。その後、土木学会規準JSCE-G571「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法」に基づいて電気泳動試験を行い、実効拡散係数を算出した。

試験結果を図-3に示す。図から、電気泳動試験の結果、55-30、55-50の配合でやや低下はあるものの、スラグ量の増大に伴い、実効拡散係数も大きくなる傾向があらわれた。

また、一般に実効拡散係数は見掛けの拡散係数に換算して使用される場合が多く、その際、コンクリート表面におけるコンクリート側、陰極側溶液側それぞれの塩化物イオン濃度の釣合に関わる係数 k_1 およびセメント水和物中への塩化物イオンの固定化現象に関わる係数 k_2 の2つの換算係数を乗ずることが望ましいとされる³⁾。そこで、見掛けの拡散係数と実効拡散係数の比から k_1k_2 を逆算し、土木学会により示されているデータと比較検討した。その結果を図-4に示す。土木学会では、1年以上塩分環境に浸せきさせた結果から、水セメント比55%において k_1k_2 が0.66となるとしているが、本研究では、浸せき期間0.5年までではあるものの、 k_1k_2 が2以上となった。より長期の浸せき期間にて検討する必要がある。

5. 放射線遮蔽性

亜鉛スラグを用いたコンクリートは単位容積質量が大きいので、重量コンクリートとしての利用が期待される。そこで、亜鉛スラグを用いたコンクリートおよびモルタルを作製し、放射線遮蔽性を検討した。

5.1 使用材料および配合

本章での使用材料を表-8に示す。セメントには中庸熱

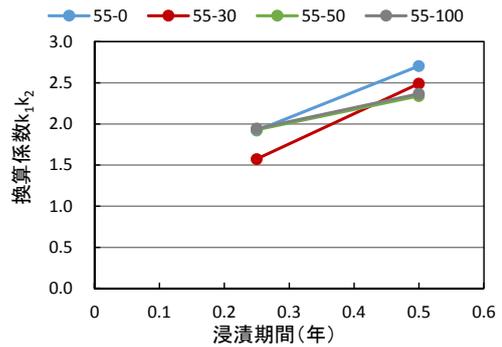


図-4 換算係数 k_1k_2 と浸漬期間の関係

表-8 使用材料

| 使用材料 | 記号 | 詳細 |
|--------|-----|--|
| セメント | - | 中庸熱ポルトランドセメント(密度3.22g/cm ³) |
| 普通細骨材 | SS | 海砂(表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率1.62%) |
| スラグ細骨材 | ZNS | 亜鉛スラグ(表乾密度3.68g/cm ³ , 吸水率0.30%) |
| | FNS | フェロニッケルスラグ(JIS適合品) (表乾密度3.09g/cm ³ , 吸水率0.47%) |
| 普通粗骨材 | LG | 石灰石碎石2005 (表乾密度2.70g/cm ³ , 吸水率0.30%) |
| スラグ粗骨材 | EFG | 電気炉酸化スラグ2005(JIS適合品) (表乾密度3.79g/cm ³ , 吸水率0.62%) |
| 混和剤 | - | ポリカルボン酸エーテル系化合物と 増粘性高分子化合物の複合体 |

表-9 骨材の組み合わせ

| 配合名(細-粗) | 細骨材 | 粗骨材 |
|-----------|----------------------|----------|
| SS-LG | 海砂 | 碎石 |
| ZNS-LG | 亜鉛スラグ +フェロニッケルスラグ | 碎石 |
| ZNS-EFG | 亜鉛スラグ +フェロニッケルスラグ | 電気炉酸化スラグ |
| ZNS(モルタル) | 亜鉛スラグ +フェロニッケルスラグ | - |

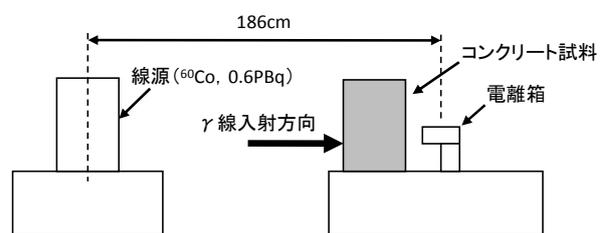


図-5 放射線遮蔽試験設置方法

ポルトランドセメントを、普通粗骨材には石灰石碎石を、普通細骨材には海砂を用いた。より単位容積質量を大きくするために、電気炉酸化スラグ2005を使用した。また、亜鉛スラグの微粒分の少なさを補うため、細粒分が多く、一般的な骨材に比べ比較的密度の大きいフェロニッケルスラグを、亜鉛スラグに対して体積比で20%の割合で用いた。配合は、水セメント比W/Cを43%もしくは

表-10 配合条件および各種試験結果

| 配合名 (細-粗) | 配合条件 | | | 単位容積質量 (g/cm ³) | 強度性状 | | | 透過率 | | | |
|--------------|------------|---------------------------|------------|--------------------------------|------------------------------|------|--------------------------------|--------|-------|-------|-----------------|
| | W/C (%) | W (kg/m ³) | s/a (%) | | 圧縮強度 (N/mm ²) | | 静弾性係数 (kN/mm ²) | γ線透過率 | | | 線減弱係数 (1/cm) |
| | | | | | 7日 | 28日 | | 版厚(cm) | | | |
| | 5 | 7.5 | 10 | | | | | | | | |
| SS-LG | 44 | 154 | 50 | 2.350 | 30.7 | 40.5 | 34.1 | 0.503 | 0.352 | 0.259 | 0.137 |
| ZNS-LG | 43 | 150 | 50 | 2.745 | 28.4 | 41.8 | 41.0 | 0.423 | 0.294 | 0.211 | 0.160 |
| ZNS-EFG | 43 | 150 | 48 | 2.953 | 29.9 | 39.7 | 37.9 | 0.403 | 0.292 | 0.191 | 0.168 |
| ZNS(モルタル) | 43 | 180 | - | 2.828 | 29.6 | 42.6 | 28.0 | 0.419 | 0.292 | 0.203 | 0.163 |

は44%、目標スランプを18±2.5cm、目標空気量を2.5±1%として決定した。また、モルタルは水セメント比W/Cを43%とした。使用した4種類の配合について、骨材の組み合わせおよび配合条件をそれぞれ、表-9、表-10に示す。

5.2 実験項目および実験方法

放射線遮蔽効果およびそれに影響する要因との関係を把握するために、圧縮強度試験(試験材齢7日, 28日)、単位容積質量試験を行った。圧縮強度試験はJIS A 1108により行い、単位容積質量にはJIS A 1116の方法で得られた値を用いた。

放射線遮蔽試験用の供試体は30×30cmの正方形版で、版厚は5, 7.5, 10cmとした。打設後28日間は水中養生、試験までの約7日間は気中養生とした。

放射線遮蔽試験の設置概略を図-5に示す。線源は⁶⁰Co密封線源で放射能は0.6PBqであり、線源から186cmの位置に電離箱を設置した後、電離箱前方にコンクリート版を設置した。コンクリート版のある場合とない場合の空間線量率を測定・比較し、γ線透過率を式(1)により算定した。配合条件および各試験結果を表-10に示す。

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (1)$$

ここで、I: 試験体設置時の透過率(nGy/h)、I₀: 試験体無しの透過率(nGy/h)、I/I₀: γ線透過率、μ: 線減弱係数(1/mm)、x: 版厚(mm)。

5.3 放射線遮蔽性試験結果

まず単位容積質量試験の結果から、亜鉛スラグを用いた配合の単位容積質量は2.745g/cm³、亜鉛スラグと電気炉酸化スラグ粗骨材を併用した配合で単位容積質量は2.953g/cm³となり、普通骨材のみを用いた配合から約2割大きな値となった。

圧縮強度試験の結果から、亜鉛スラグを用いたコンクリートの配合は海砂を用いたコンクリートに比べ、7日強度は低下するものの、28日強度では同等以上となった。また、静弾性係数は海砂を用いたコンクリートに比べ大きくなった。

図-6に単位容積質量とγ線透過率の関係を示す。図か

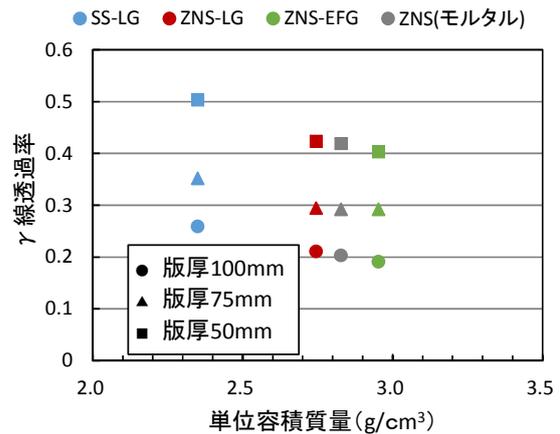


図-6 単位容積質量とγ線透過率の関係

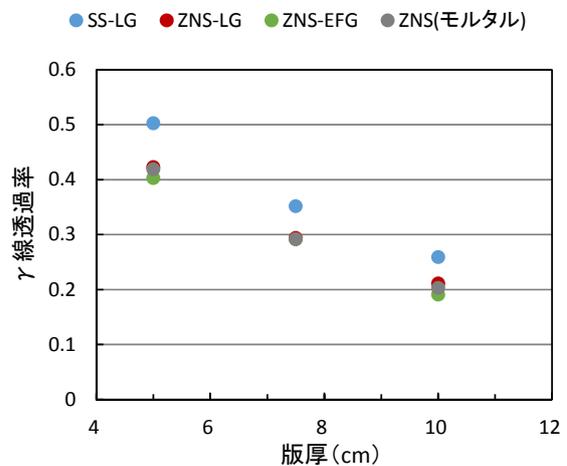


図-7 版厚とγ線透過率の関係

ら、単位容積質量の増大に伴い、γ線透過率が下がることが分かった。また、モルタルであっても、その単位容積質量が高ければ、コンクリートと同等の遮蔽効果を得られることが分かった。

続いて、図-7に版厚とγ線透過率との関係を示す。図から、どの配合においても、版厚を大きくすることでγ線透過率が小さくなることが分かった。

さらに、図-8に圧縮強度とγ線透過率の関係を示す。図から、圧縮強度とγ線透過率の関係は認められなかつ

た。これらの結果から、 γ 線の透過率は、単位容積質量および版厚との関係性が強いことが確認された。

一般に、光が溶液に照射された際、一部はその途中で吸収される。その吸収率（吸光度）は溶媒の濃度と厚さの積に比例することが知られており、式(2)のように表される。

$$\log_{10} \frac{I}{I_0} = -\varepsilon C L \quad (2)$$

ここで、 ε ：モル吸光係数(L/(mol・mm))、C：モル濃度(mol/L)、L：光路長(mm)。

これはランベルト・ベールの法則と呼ばれ、吸光度は $\log_{10} I/I_0$ で表される。モル吸光係数 ε とは物質固有の定数である。本研究では濃度Cはコンクリートの単位容積質量に、光路長Lはコンクリートの版厚に見立て、その関係性を検討した。

その結果を図-9に示す。図中の実線は、単位容積質量と版厚の積と吸収率の関係の線形近似式を示す。また、その決定係数 R^2 の値も図中に示す。 R^2 の値は0.997と非常に良好な値をとっており、ランベルト・ベールの法則のように、単位容積質量と版厚の積と吸収率に比例関係がある可能性は極めて高いと言える。

このことから、目標とする放射線遮蔽度から、必要な版厚および単位容積質量を、逆算的に決定することができると考えられる。

6. まとめ

本研究では、亜鉛スラグのコンクリート用細骨材への適用性について検討することを目的とし、まず亜鉛スラグそのものの化学的および物理的性質と、生物環境安全性を検討した。続いて亜鉛スラグをコンクリート用細骨材として使用したコンクリートを作製し、普通細骨材に対する亜鉛スラグの置換率を変化させた場合のコンクリートの塩分浸透性、放射線遮蔽性について検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 溶出量試験および含有量試験の結果から、亜鉛スラグからの有害物質の溶出量は基準値以下となった。
- (2) 亜鉛スラグを用いたコンクリートは、普通コンクリートに比べ初期強度は低下するものの、材齢91日ではほぼ同程度となり、材齢1年では上回る。
- (3) 亜鉛スラグを用いたコンクリートの塩分浸透性は、スラグ置換率の増大に伴い増加するものの、普通コンクリートと同等といえる。
- (4) 放射線遮蔽性について、 γ 線透過率は単位容積質量および版厚に関係がある。
- (5) γ 線透過率から算出した吸収率は、単位容積質量と版厚の積と良好な比例関係があることがわかった。この関係から、目標とする放射線遮蔽度から、必要

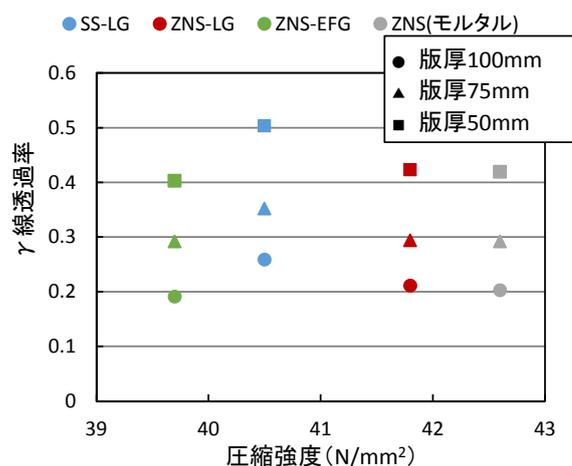


図-8 圧縮強度と γ 線透過率の関係

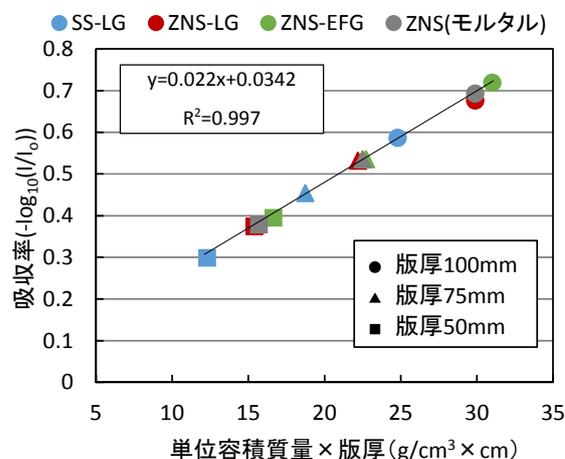


図-9 単位容積質量・版厚と γ 線吸収率の関係

な版厚および単位容積質量を、逆算的に決定することができる。

謝辞：本研究は、平成25年度（公財）福岡県リサイクル総合研究事業化センター研究開発事業の助成を受けて行ったものである。また、放射線遮蔽性試験は（株）アトックス技術開発センターにおいて行った。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 酒井俊男, 佐川康貴, 秋元洋一郎, 近田孝夫: 亜鉛製錬時に副産されるスラグのコンクリート用細骨材への適用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp.1834-1839, 2014
- 2) 土木学会: 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー92, p.9, 1998.2
- 3) 土木学会: コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向, コンクリート技術シリーズ, No.55, 2003.9