

高精細 X 線 CT 装置を利用した高炉水砕スラグと砂利の混合比管理の調査研究
 ～ 試料容器と測定試料の調査～

材料技術室 松岡 弘己, 細谷 昌裕

Study on mixing ratio management of Granulated blast furnace slag and gravel
 using high-resolution X-ray CT scanner
 ～ Investigation of sample container and measurement sample ～

Hiromi MATSUOKA and Masahiro HOSOYA

高精細 X 線 CT 装置を活用して、高炉水砕スラグと砂利の混合比率を管理するために必要となる、試料容器の選定と、測定試料である高炉水砕スラグと砂利の密度、粗粒率、成分の測定を行った。試料容器は、X 線を透過しやすいポリプロピレン製試験管を今後の測定で使用することにした。高炉水砕スラグと砂利の測定結果から、主成分の違いが真密度の差となり、3次元 CT 像にコントラスト差を生じる原因となることが確認できた。

1 はじめに

高炉水砕スラグと砂利は X 線減弱係数が異なる。このことから、高精細 X 線 CT 装置を用いて高炉水砕スラグ入り砂利の 3 次元 CT 像を撮影し、画像のコントラスト比から高炉水砕スラグと砂利の混合比を管理する手法を確立する調査研究を行っている。今回、撮影時に使用する試料容器の選定と、測定試料である高炉水砕スラグと砂利の密度、粗粒率、成分の測定結果の報告を行う。

2 方法

2. 1 試料容器の選定

形状と材質の異なる 10～15ml プラスチック製試験管(ポリプロピレン製 5 種類, ポリスチレン製 3 種類, ポリカーボネート製 3 種類, アクリル製 1 種類) 12 本を用意した。写真 1 に各材質の外観を示す。

試料容器は、X 線の透過が良い物ほど測定対象物の画像に影響を与えないため、試料容器を透過した X 線の検出輝度を測定して比較を行った。

測定には、高精細 X 線 CT 装置 (TDM1000H-II (2K), ヤマト科学製) 写真 2 を使用した。管電圧 30kV, 管電流 150uA, 拡大軸 50mm に設定し、各プラスチック製試験管を撮影したときのライブウインドウの平均輝度を測定した。



写真 1 各材質の試料容器の外観
 (左からポリプロピレン製, ポリスチレン製,
 ポリカーボネート製, アクリル製)



写真 2 高精細 X 線 CT 装置

2. 2 高炉水砕スラグと砂利の試料

高炉水砕スラグは、2製造業者から4種類の試料の提供を受け、試験に供した。内訳を表1に示す。

砂利は、コンクリート用骨材として出荷している製品とそれより粒度の細かい中目および細目の砂利(3産地5種類)を試験に供した。内訳を表2に示す。

2. 3 粗粒率

JIS A 1102 骨材のふるい分け試験方法により粗粒率を求めた。

2. 4 真密度測定

前処理として、試料を電気炉内で乾燥(105℃, 6時間)させてから、真空デシケータで真空引き(30分)を行った。

真密度は、密度・比重測定装置(ペンタピクノメータ, カンタクローム製)を用いて、サンプルセルに入れた試料の質量を測定してから真体積の測定し、試料の質量と真体積より、真密度を計算した。サンプルセルは容量 135ml, 測定ガスにヘリウムを使用した。

表1 高炉水砕スラグの種類

| スラグ | 業者 | 種類 |
|------|----|--------------------------------|
| スラグ1 | A | 製品として出荷しているもの |
| スラグ2 | B | 製品として出荷しているもの (下記2種を混合したもの) |
| スラグ3 | | 高炉からの溶融物をすぐに水砕したもの(炉前) |
| スラグ4 | | 溶融物を運搬してから水砕したもの(炉外) |

表2 砂利の種類

| 砂利 | 産地 | 種類 |
|-----|--------|-----|
| 砂利1 | 君津市法木 | 製品 |
| 砂利2 | 市原市万田野 | 中目 |
| 砂利3 | 君津市吉野 | 中目 |
| 砂利4 | | 細目1 |
| 砂利5 | | 細目2 |

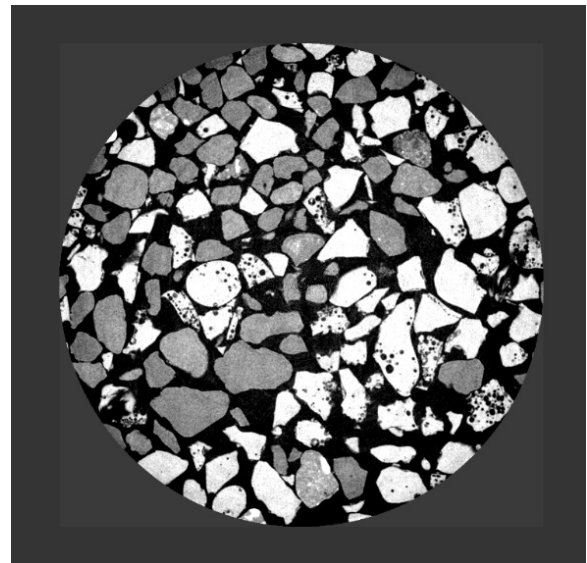


写真3 高炉水砕スラグと砂利のCT像

2. 5 成分測定

前処理として、試料を電気炉内で乾燥(105℃, 6時間)させてから、遊星型ボールミル(P5/4, フリッチュ製)のタングステンポットとボールを使用し、試料量 50g, 回転数 300rpm, 処理時間 10 分間の条件で粉砕を行った。

成分は、波長分散型蛍光 X 線分析装置(RIX2100, リガク製)を用いて、粉末にした試料から加圧成形法で作成したペレットを測定し、ファンダメンタルパラメーター法で半定量値の演算を行った。

3 結果及び考察

3. 1 試料容器の選定結果

表3にプラスチックの一般的な密度と平均輝度の測定結果を示す。

材質の密度が小さいほど透過したX線の平均輝度が高く、X線を通しやすいことが確認できた。同じ材質でも平均輝度に差があるのは、試験管の厚さが影響していると考えられる。

3. 2 真密度と粗粒率の測定結果

表4及び5に高炉水砕スラグと砂利の真密度と粗粒率の測定結果を示す。

高炉水砕スラグと砂利の真密度は、0.15 g/cm³以上差がある。この差が高炉水砕スラグと砂利の3次元CT像(写真3)におけるコントラスト差の原因となることが確認できた。

業者Bの炉前(スラグ3)と炉外(スラグ4)

は、同じ高炉の溶融スラグから製造しているが、真密度の測定結果は異なっていることがわかった。

3. 3 半定量分析結果

表6及び7に高炉水砕スラグと砂利の半定量分析結果から1%以上含まれている成分を示す。高炉水砕スラグの測定結果には、参考として鉄(Fe)を添加した。

高炉水砕スラグは、カルシウム(Ca)とけい素(Si)が主成分で鉄(Fe)はほとんど含まれていない。また、業者と種類が変わっても成分はほとんど変わらないことがわかる。

炉前(スラグ3)と炉外(スラグ4)の真密度の測定結果は異なるが、半定量分析結果は、ほとんど変わらない。このことから、炉前(スラグ3)は炉外(スラグ4)より内部に気泡を多く含んでいることが考えられる。

砂利は、けい素が主成分であり、産地(砂利1, 砂利2, 砂利3~4)により成分に幅があることがわかる。

鉄の成分を比較すると砂利は3~5%で、高炉水砕スラグの0.2~0.5%より多く含んでいる。鉄成分の組成によっては、砂利に高炉水砕スラグよりX線を通しにくい部分がある可能性があることがわかった。

4 まとめ

(1) 試料容器は、平均輝度が高くX線を透過しやすいポリプロピレン製試験管を今後の測定で使用することにした。

(2) 高炉水砕スラグと砂利の主成分の違いが真密度の差となり、3次元CT像を撮影したときのコントラスト差の原因となることが確認できた。

表3 試験管の平均輝度測定結果

| 材質 | 密度 (g/cm ³) | 平均輝度 |
|----------|----------------------------|-----------|
| ポリプロピレン | 0.90~0.91 | 2600~2380 |
| ポリスチレン | 1.03~1.05 | 2420~2350 |
| アクリル | 1.17~1.20 | 1910 |
| ポリカーボネート | 1.19~1.20 | 2100~1700 |

表4 高炉水砕スラグの真密度と粗粒率

| スラグ | 真密度 (g/cm ³) | 粗粒率 |
|------|-----------------------------|------|
| スラグ1 | 2.877 | 3.91 |
| スラグ2 | 2.868 | 3.42 |
| スラグ3 | 2.836 | 2.85 |
| スラグ4 | 2.889 | 3.61 |

表5 砂利の真密度と粗粒率

| 砂利 | 真密度 (g/cm ³) | 粗粒率 |
|-----|-----------------------------|------|
| 砂利1 | 2.677 | 2.90 |
| 砂利2 | 2.692 | 1.97 |
| 砂利3 | 2.702 | 2.36 |
| 砂利4 | 2.707 | 1.85 |
| 砂利5 | 2.707 | 1.71 |

表6 高炉水砕スラグの半定量分析結果 (単位:mass%)

| スラグ | 製造業者 | 種類 | 成分名 | | | | | | |
|------|------|----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | Ca | O | Si | Al | Mg | C | Fe |
| スラグ1 | A | 製品 | 38.1 | 32.0 | 12.2 | 8.0 | 4.8 | 1.5 | 0.2 |
| スラグ2 | B | 製品 | 37.7 | 32.6 | 11.8 | 7.1 | 5.4 | 1.7 | 0.4 |
| スラグ3 | | 炉前 | 37.8 | 32.0 | 11.9 | 7.0 | 5.2 | 1.6 | 0.5 |
| スラグ4 | | 炉外 | 36.6 | 32.0 | 13.1 | 6.7 | 6.2 | 1.4 | 0.3 |

表7 砂利の半定量分析結果 (単位:mass%)

| 砂利 | 産地 | 成分名 | | | | | | | | |
|-----|--------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | O | Si | Al | Fe | K | Ca | Na | C | Mg |
| 砂利1 | 君津市法木 | 44.7 | 35.6 | 6.9 | 3.4 | 2.3 | 2.0 | 3.1 | - | 1.3 |
| 砂利2 | 市原市万田野 | 43.3 | 30.5 | 8.0 | 4.0 | 1.9 | 3.5 | 3.4 | 2.8 | 1.7 |
| 砂利3 | 君津市吉野 | 43.2 | 29.1 | 7.8 | 4.6 | 1.8 | 4.6 | 3.0 | 3.0 | 2.0 |
| 砂利4 | | 41.9 | 27.9 | 8.7 | 5.2 | 1.9 | 5.4 | 3.2 | 2.8 | 2.2 |
| 砂利5 | | 42.7 | 27.4 | 8.3 | 5.0 | 1.5 | 6.0 | 3.2 | 2.9 | 2.1 |