

## 震災がれき焼却主灰を骨材利用したセメント硬化体の材料特性

西松建設(株) 正会員 ○椎名貴快 平野孝行  
 東北大学大学院 正会員 久田 真

### 1. はじめに

東日本大震災のがれき処理では、混合可燃物の焼却により、大量の焼却灰(主灰、飛灰)が発生した。一方、被災自治体の一部では、埋立処分場の確保が喫緊の課題となり、さらに建設資材の不足も予想されたため、焼却灰を復興資材として活用する技術が求められた。

そこで、著者らは、被災地の仮設焼却炉で発生した焼却灰の約7~9割を占める主灰に着目し、原灰のまま細骨材として用いたセメント硬化体を作製し、硬化体の強度、耐久性及び安全性について確認した。



写真-1 主灰

### 2. 焼却主灰

主灰の物性値を表-1に示す。主灰(写真-1)に含まれる金属片等の不燃物を除去するため、大型振動スクリーンで分級し、粒径15mm未満(全体の約97mass%)を原灰のまま使用した。未燃物が数%含まれているため、絶乾密度は1.99g/cm<sup>3</sup>と一般の骨材に比べて小さく、吸水率は8.7%と高い。放射性Cs濃度は278Bq/kgで、クリアランスレベル100Bq/kgを超える値であった。蛍光X線による化学成分分析の結果、SiO<sub>2</sub>:54.6%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:12.9%、CaO:9.1%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:6.1%で、ig.lossが8.0%と高く、Clは1.0%未満で検出量はわずかであった。

表-1 主灰の物性値

採取場所	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	実績率 (%)	放射性Cs濃度 (Bq/kg)
仮設焼却炉 (宮城県)	1.99	8.7	59.6	278 ( <sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs)

### 3. セメント硬化体

#### (1) 使用材料

焼却主灰の絶乾密度が2.00g/cm<sup>3</sup>程度と小さいため、セメント硬化体を製造した時、単位容積質量の確保が課題となった。そこで、粗骨材には、密度が大きく、東北被災地で調達が比較的容易な副産物を考え、鉄鋼製造工程で生成される製鋼スラグ(電気炉系、絶乾密度3.2g/cm<sup>3</sup>、吸水率2.5%、粒度40(60)~25mm)(写真-2)を選定した。他に、高炉セメントB種(密度3.04g/cm<sup>3</sup>)、混和剤には高性能AE減水剤とAE助剤(フライアッシュ用)を使用した。



写真-2 製鋼スラグ(電気炉系)

#### (2) 製造方法

使用材料の特性を活かし、できるだけ多くの主灰と製鋼スラグを利用するため、ポストパッキング工法(モルタル先行注入法)を採用した。主灰を用いたモルタルを型枠内に注入した後、製鋼スラグの粗粒材を投入する方法である。

表-2 モルタル配合

W/C (%)	S/C	S (mass%) (vol%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			SP	AE
			W	C	S		
57.0	1.24	44 36	360	632	782	C× 0.8%	C× 2.0%

#### (3) モルタル配合とフレッシュ性状

表-2及び表-3にモルタル配合及びモルタルのフレッシュ性状を示す。フローの目標値は、モルタル充てん性と製鋼スラグとの一体性を確保できる範囲とした。また、空気量は、硬化体中で4.0~6.0%確保できる値である。

表-3 モルタルのフレッシュ性状

	フロー (mm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)
試験方法	JIS R 5201 落下衝撃なし	JIS A 1128	JSCE-F 522
目標値	250±50mm	8.0~12.0%	3%以下
試験結果	260×257	8.2	0

キーワード 東日本大震災, 焼却主灰, 製鋼スラグ, ポストパッキング工法

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門1-20-10 西松建設(株)技術研究所 TEL. 03-3502-0249

#### 4. 試験結果

##### (1) 廃棄物・副産物利用率

骨材はすべて廃棄物(主灰)と副産物(製鋼スラグ)を利用しており、セメント硬化体の全容積に占める廃棄物・副産物利用率は約 67%と高く、セメント中に含まれる高炉スラグ微粉末(副産物)も含めると、全体で 70%を超えた。

##### (2) 強度

材齢 7 日、28 日における硬化体の一軸圧縮強度試験の結果は 25.1 及び 28.2N/mm<sup>2</sup>で、材齢 7 日以降の強度増進が小さいものの、20N/mm<sup>2</sup>以上を確保できた。また、硬化体の単位容積質量は 2,460kg/m<sup>3</sup>で、一般的なコンクリートよりも若干大きい結果であった。

##### (3) 耐久性

表-4 に、セメント硬化体の長さ変化試験、促進中性化試験及び凍結融解試験の結果を示す。乾燥材齢 26 週目での長さ変化率の値は  $182 \times 10^{-6}$  と極めて小さく、土木学会の規定値以下であった。この理由として、硬化体中に占める粗骨材(製鋼スラグ)の容積率が約 48%で、通常のコンクリートの 1.5 倍ほどあり、収縮変形挙動に影響するモルタル容積が小さいことなどが考えられる。促進中性化試験による中性化速度係数(促進)の値は 3.3mm/√週で、過去の実績から、W/C=50% (高炉セメント B 種使用) のコンクリートと同程度であった。一方、凍結融解試験による相対動弾性係数の値は、26 サイクル目で 66%まで低下した。この原因として、主灰に由来して混在した木片等の有機物が、スケーリングやポップアウト現象を誘発し、局所的な断面欠損を生じさせたためと考える。

表-4 セメント硬化体の耐久性試験結果

試験名 試験基準	評価項目	規定値	試験結果
長さ変化試験 JIS A 1129	長さ変化率	1,000×10 <sup>-6</sup> 以下 (土木学会)	182×10 <sup>-6</sup> (乾燥材齢 26 週目)
促進中性化試験 JIS A 1153	促進中性化 速度係数	—	3.3mm/√週 (促進期間 26 週)
凍結融解試験 JIS A 1148(A 法)	相対動弾性 係数	60%以上	66% (サイクル数 26 回)

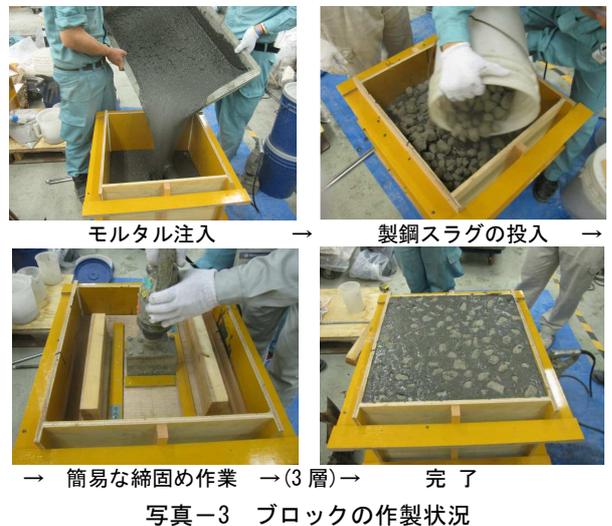


写真-3 ブロックの作製状況

##### (4) 安全性

第 2 種特定有害物質(重金属類)の溶出試験の結果、全ての成分で環境基準を満足する結果であった。また、硬化体中の放射性セシウムの含有・溶出試験を実施した結果、含有量は 100Bq/kg 未満で、Cs 溶出量は検出限界濃度未満であった。

##### (5) ブロック試作による施工性確認

一辺 50cm の矩形ブロックを試作し、施工性やコア供試体による強度及び充てん性を確認した。一回の最大打込み高さは 200mm とした(写真-3, 写真-4)。外観観察及びコア供試体(φ 12.5cm)による充てん確認の結果、充てん不良箇所や表面気泡等は確認されず、仕上がりは良好であった。また、コア供試体と現場封緘養生供試体の圧縮強度および単位容積質量は、それぞれ概ね等しい値であった。



写真-4 試作ブロック

#### 5. まとめ

本検討の範囲内において、主灰を原灰のまま細骨材として用いたセメント硬化体は、強度や中性化抵抗性が一般的な土木コンクリートと概ね同等で、長さ変化率は極めて小さくなる傾向が確認されたが、凍結融解抵抗性は若干劣ることがわかった。また、重金属類や放射性セシウムに係わる安全性に問題はないことが分かった。

**謝辞：**本検討は、東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会(5 部門)での活動成果の一部であり、JFE スチール(株)の高橋克則氏、竹本油脂(株)の岩瀬勝洋氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 椎名貴快, 久田 真ほか: 震災がれき焼却主灰と製鋼スラグを骨材に用いたセメント硬化体の基礎物性, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, 2014.7 (投稿中)