

双ロール式間接水冷による新スラグ冷却技術

Twin-roll Type Slag Indirect Cooling Equipment as a New Slag Cooling Method

明石 哲夫 AKASHI Tetsuo JFE 環境ソリューションズ 技術本部 環境エンジニアリング統括センター 環境設計部燃
焼・炉設計室 第三グループマネージャー

市川 哲也 ICHIKAWA Tetsuya JFE 環境ソリューションズ 環境設計部燃焼・炉設計室 課長

鈴木 永芳 SUZUKI Nagayoshi JFE 環境ソリューションズ 環境設計部燃焼・炉設計室 副課長

要旨

JFE 電気抵抗式灰溶融炉は、空冷式、水砕式といった従来技術に代わる冷却方式として、双ロール式間接冷却という独自技術を開発し、実証試験によるスラグ品質の検証を経て、実用機の稼働を実現した。双ロール実機初号機のスラグについて、溶出試験および含有量試験を行い、コンクリート用溶融スラグ細骨材の規格を満足しており、有害金属の溶出と含有量がともに少ないスラグであることが確認された。現在建設中の実用機ではさらなる冷却能力改善を企図して、実機初号機の熱流体シミュレーションを行い、その結果をもとにロール水冷構造の変更を行った。

Abstract:

JFE Environmental Solutions developed an original cooling system of molten slag generated from the JFE Electric-resistance Ash-melting Furnace, in place of conventional air or water-cooling system, consisting of twin drum rollers cooled with a coolant flowing inside the drums indirectly. The first system has been applied to a commercial plant after verified the slag qualities regarding leaching and content of heavy metals and related requirements. For the second plant under construction, the structure of the cooling rollers was modified to improve further its cooling performance on the basis of fluid dynamics and heat transfer simulations.

1. はじめに

近年、焼却残渣の埋立て処分にもなう環境汚染の不安や埋立て処分場の逼迫から、都市ごみ焼却残渣の溶融処理は急速に普及しており、生成されるスラグが土木建設資材などへ有効利用されることにより、最終処分場の延命化が図られている¹⁾。

この焼却灰溶融技術に関しては多彩な方式が開発実用化されたものの、溶融スラグの冷却固化技術は従来より水砕式と空冷式の二方式が主流となっている。

水冷式の場合、空冷スラグに比べて粒径の小さい、砂状の水砕スラグが得られるため、有効利用のための粒度調整を行う際、破碎に要するエネルギーを小さくできる利点がある。しかし、溶融スラグと水砕水が直接接触するため、水砕水の排水処理設備が必要となる。また、スラグ中に針

状のものが混入することがあり、有効利用にあたっての障害となっている。

空冷式では、得られる空冷スラグは水砕スラグに比べて、優れた力学的性状を示すが、モールドコンベヤ上での冷却時間を確保するために、装置の機長が長く、多くのスペースを必要とする。また、空冷スラグを細骨材として有効利用するために、スラグを粗破碎する工程と角取りのための整粒工程が必要であり、設備が大掛かりなものになるという課題を持っている²⁾。

JFE 環境ソリューションズでは、前記二方式に代わる、新しいスラグ冷却方法として、双ロール式間接冷却技術を開発した。この方法は、冷却媒体で間接冷却した金属ロールに溶融スラグを接触・凝固させる技術であり、溶融スラグと冷却水が直接接触することがないため、排水処理設備が不要となり、大幅に設置スペースを減じることができる。生成されるスラグの破碎後の形状はフレック状であり、針状スラグの混入もない。

本稿では、双ロールの研究開発から実用運転の状況につ

2007 年 11 月 9 日受付

いて紹介する。

2. 双ロール式スラグ間接冷却技術の概要

2.1 双ロール式間接冷却技術の特徴

双ロール式間接冷却技術の開発動向、および実証試験時のスラグ品質については、既報²⁾で詳細に報告されているが、以下にその概要を改めて紹介する。

開発した双ロール式間接冷却装置の機器構成を図1に示す。

冷却媒体で内面が冷却された一對の金属ロールは互いに外方向に回転しており、灰溶融炉から排出される溶融スラグは、2本のロールが接している箇所の近傍に注がれる。スラグは半溶融状態で巻き上げられ、ロール表面で冷却凝固し、所定の厚さの板状スラグとして固化される。

JFE電気抵抗式灰溶融炉は、炉内比重分離により溶融メタルを含まない溶融スラグのみを排出することが可能である。よって、双ロール式間接冷却装置を炉に直結することができ、ロール部分で凝固が完結するため省スペースの設備とすることが可能となる。

2.2 間接冷却スラグの諸特性

2.2.1 細骨材の基本特性

実証試験で製造した3種類の冷却方法の異なるスラグについて、JIS砕砂(JIS:日本工業規格)の基本特性調査を実施した結果を表1に示す。

どの冷却方法であってもガラス質であるため、冷却方法によらず、吸水率は1%以下と小さい値となる。また、単位容積質量(容器に満たした骨材の絶乾質量を容器の容積で除したもの)、実績率(単位容積中に占める骨材の実質部分の割合を容積の百分率で表示したものは、水砕スラグが小さく、間接冷却、空冷スラグが大きい値を示した。

2.2.2 モルタル骨材試験

土木学会基準「スラグ微粉末を用いたセメントの物理試験法」を準用し、ミニスランプコーンによるスランプ値を

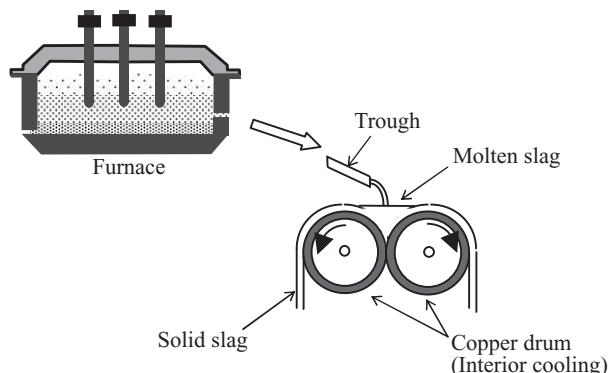


図1 双ロール装置 機器構成

Fig.1 Twin roll type cooling system

表1 灰溶融スラグ細骨材の基本特性

Table 1 Property of fine slag aggregate

	Water granulated slag	Twin-roll type indirect cooled slag	Air cooled slag
Density in saturated surface-dry condition ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)	2.85	2.89	2.88
Density in oven-dry condition ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)	2.84	2.89	2.87
Water absorption (wt%)	0.17	0.17	0.32
Bulk density (kg/l)	1.80	1.86	1.88
Ratio of absolute volume	63.4	64.6	65.3

表2 灰溶融スラグ細骨材のモルタルフロー試験結果

Table 2 Mortar flow test of fine slag aggregate

	Water granulated slag	Twin-roll type indirect cooled slag	Air cooled slag	Natural sand
Water-cement ratio (%)	53.7	54.3	53.5	47.6
Slump (cm)	9.3	8.7	8.8	9.1

用いて性能評価を行った。スラグ細骨材/セメント比を2.5(質量比)とし、ミニコーンによるスランプ値の判定条件は、 $9 \pm 0.5 \text{ cm}$ を満足する水セメント比を試験により求めた。比較試料として、天然の山砂を合わせて評価した結果を表2に示す。

各スラグ間に差はほとんどなく、同等の流動性を示したが、天然砂と比べると水セメント比が大きな値となった。

3. 双ロール式間接冷却設備の実用機操業状況

3.1 実用機の運転状況

前述の実証試験を経て、2006年、双ロール式間接冷却装置の実用機がA社(川崎市)に完成し、稼働を開始した。以下に設備概要と稼働状況について報告する³⁾。

3.1.1 プラントの概要

実用プラントは、ロータリーキルン+ストーカ式焼却炉(215 t/d, 1 炉)の焼却残渣を受け入れ、ふるい分け前処理後、JFE電気抵抗式灰溶融炉で溶融している。処理フローを図2に示す。

灰溶融炉は計画溶融能力27 t/d, 1 炉である。灰溶融炉の設備仕様を表3に示す。

溶融対象物はキルン・ストーカ式全連焼却炉の焼却灰を50 mm以下にふるい分けしたものである。試運転時に製造したスラグの組成例を表4に示す。

Caが相対的に多く含まれ、塩基度として CaO/SiO_2 が1.48と比較的高く、流動性の高いスラグとなっている。

3.1.2 双ロール装置実用機の概要

双ロール式間接冷却設備はスラグ凝固伝熱計算を元に設

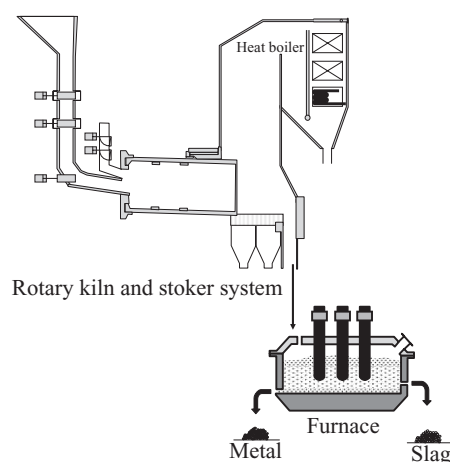


図2 A社 処理フロー
Fig.2 System flow diagram

表3 灰溶融炉設備仕様
Table 3 Specifications of demonstration furnace

Furnace type	JFE electric resistance furnace
Capacity	27 t/d
Furnace outer dimension	3.9 m (Diameter), 3.0 m (Height)
Electrode	Carbon 0.2 m (Diameter)
Transformer capacity	1 400 kVA

表4 スラグ組成例
Table 4 Content of slag

Ca (mass%)	Si (mass%)	Al (mass%)	Basicity
22.2	15.0	7.3	1.48

備の最大処理能力を3.0 t/hで設計した。概略寸法はロール径0.65 m、長さ0.7 mである。ロール材質は、スラグの間接冷却効果をもつため純銅製とした。

ロール内部の冷却方式は実証試験では浸漬冷却としたが、実用機ではジャケット水冷構造とし、ロール内面を強制循環冷却する方式を採用した。ロールの駆動はインバータモータによるサイクロ減速機方式である。

3.1.3 稼働状況

運転状況を写真1に示す。

高塩基度スラグのため流動性が高く、溶融炉出口のスラグ流量調整が容易で、安定したスラグ供給ができる。

溶融炉からは1400℃程度のスラグ温度で排出し、水冷金属樋から双ロールに1320℃程度で注入される。ドラムに巻き取られたスラグは板状となり、ロール剥離点近傍の表面温度は700℃程度の半凝固状態である。

3.2 製造スラグの特性

3.2.1 スラグの安全性

環境庁告示46号による溶出試験と環境庁告示19号によ



写真1 双ロール装置実用機の稼働状況

Photo 1 Practical application of twin roll cooling system

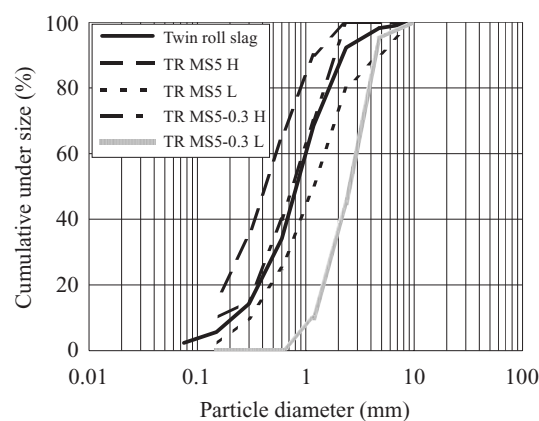


図3 間接冷却スラグの粒度分布

Fig.3 Particle size distribution of slag

る含有量試験を行った。コンクリート用溶融スラグ細骨材の規格JIS A 5031に規定されているHg, As, Se, Cd, Pb, Cr⁶⁺, F, Bは、すべて基準値を満足しており、有害金属の溶出と含有量とともに少ないスラグであることが確認された。

3.2.2 スラグ物性

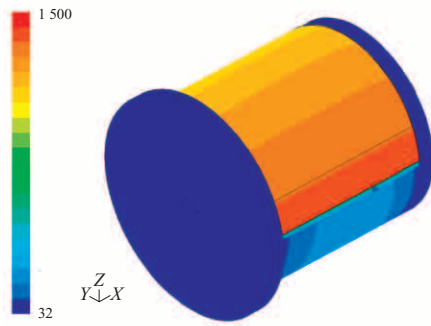
スラグ破砕機で破砕したスラグの特性を図3に示す。

スラグ粒度はふるい分けをしていないため、5 mm以上が含まれるが、粗粒率は2.78と低めで、粒度分布としてはJIS A 5031のMS5あるいはMS5-03の規格に入っている。他の物理特性は同じくJIS A 5031の規格値をすべて満足している。

4. 双ロール式間接冷却設備の今後の展開

4.1 双ロール実機二号機の概要

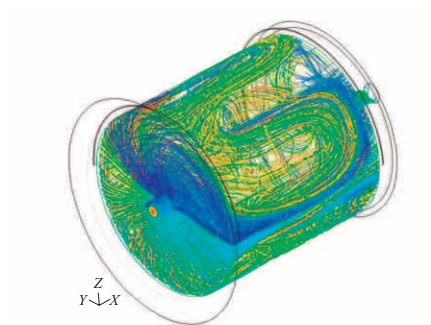
双ロール式間接冷却設備の二号機として、現在建設中のB市向灰溶融設備への導入が決定している。同施設は2008年竣工予定の灰溶融施設であり、既設の一般廃棄物焼却設備から発生する焼却残渣を受け入れて、溶融処理を行う。灰溶融炉は26 t/d、2炉が建設される。



(解析担当：JFE ソルデック構造技術部)

図4 スラグ表面温度分布

Fig.4 Temperature distribution of slag surface



(解析担当：JFE ソルデック構造技術部)

図5 冷却水流線図

Fig.5 Flow of cooling water inside roll

4.2 双ロール装置の構造変更

B市向双ロール式間接冷却設備の設計に当たり、A社向双ロールの温度計測を実施し、設計の検証を行った。検証の結果、ロール表面温度が設計値よりも高めであることが判明した。そこで、実機初号機のロールおよび冷却水をモデル化し、熱流体シミュレーションを実施し、構造の見直しを行った。ロール内部の冷却水流線図を図4に、ロール上のスラグの温度分布図を図5に示す。

冷却水流線図を検討した結果、ロール内部の水路で、局部的に冷却水の流速が設計値を下回ることが分かった。そこで、ロール内部のジャケット構造を見直し、冷却水の流速低下を防止する構造変更を実施した。この構造変更により、双ロールによる冷却能力の向上が期待されるが、その検証については2008年に予定されている負荷試運転で実施する計画となっている。

5. おわりに

本稿では、新スラグ冷却技術として、双ロール式間接冷却技術の特徴、実証試験時のスラグ特性を紹介すると同時に、実用機の操業状況について報告した。

本技術は従来の水砕式、空冷式が持つ環境装置上の問題を解決する手段を提供するものであり、実用機でのスラグ品質についても、有効利用可能なものであることを確認した。

参考文献

- 1) 日本産業機械工業会, 溶融スラグ (エコスラグ) 有効利用の課題とデータ集 (2006年度版). 2007.
- 2) 明石哲夫, 勝呂洋次, 平岡英伸, 藪田和哉, 中原啓介, 山本浩. NKK技報. 2002, no.177, p.52-58.
- 3) 明石哲夫, 土井茂行, 菊地亨, 鈴木永芳, 猿田昌彦, 寺本豊和. 第16回環境工学総合シンポジウム2006論文集. 2006, p.214-216.



明石 哲夫



市川 哲也



鈴木 永芳