

| | |
|--------------|---|
| Title | 鉄鋼スラグを有効活用するための密度および形状を制御する冷却凝固プロセスの開発に関する研究 |
| Author(s) | 當房, 博幸 |
| Citation | 大阪大学, 2014, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/34412 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (當房博幸)

論文題名

鉄鋼スラグを有効活用するための密度および形状を制御する冷却凝固プロセスの開発に関する研究

論文内容の要旨

我が国では年間約1.1億トンの粗鋼が生産され、同時にはほぼ同体積のスラグが副生物として生成しており、その再資源化が大きな問題となっている。そこで、高炉スラグをコンクリート用粗骨材、細骨材へ利用すれば、従来から利用されている石灰石、硬質砂岩等の天然資源の消費を抑制できる利点がある。しかしながら、現行のプロセスで生じる高炉徐冷スラグや高炉水砕スラグは多孔質であり、天然骨材と同様に扱えないことから、コンクリート用粗骨材、細骨材への利用量は大変少ないのが現状である。さらに、鉄鋼スラグは発生した時点では高温であるが、その熱は有効に利用されていないため、スラグの顕熱を有効に利用するための新たなプロセスの開発も切望されている。鉄鋼スラグを有効に活用するためには、用途、需要に応じた密度、形状や顕熱を回収しやすい形状に加工することが必要である。そこで本研究では、熔融スラグを凝固する過程について、以下の3項目について検討し、新たなプロセスを開発した。

- 1) 高炉徐冷スラグの気孔を低減し高密度化する凝固条件の検討
- 2) 高炉水砕スラグの密度および粒度を制御する冷却条件の検討
- 3) 顕熱回収に適した形状に製鋼スラグを凝固する条件の検討

本論文はこれらの成果についてまとめたもので、以下のように要約される。

第1章では、本研究の背景、目的および本論文の構成について述べた。

第2章では、天然骨材と同等の品質となる高炉スラグ粗骨材を製造するため、高炉徐冷スラグの気孔を低減し高密度化する凝固条件を検討した。高炉徐冷スラグの気孔は、冷却過程での酸素との接触により生ずること、気孔率低減には冷却速度の増加が有効であることを明らかにした。実際の熔融高炉スラグを板状に凝固する実験、温度測定実験と一次元非定常伝熱解析から、スラグの熱伝導度が小さいため中心部の冷却速度は遅いこと、厚みの薄い板状に凝固させることが冷却速度増加に最も有効であることを明らかにした。本結果を基に高炉スラグ板状凝固パイロット設備を作製し、120sec程度の短時間で高炉スラグを20~30mmの板状に凝固させ、吸水率が1%以下、すりへり減量が15%の緻密で耐磨耗性の高いスラグ骨材が得られることを実証した。以上の結果から、天然石と同等の品質の高炉スラグを大量に製造する「回転平板鋳型式高炉スラグ連続凝固プロセス」を開発した。

第3章では、コンクリート用細骨材の混合材に適した大粒径の高炉スラグ細骨材を製造するため、水砕スラグの粒径および密度を制御する冷却条件を検討した。実験室規模の実験、水砕設備での実験から、平均粒径、単位容積質量に及ぼすスラグ温度、冷却水温度、ノズル形状の影響を明らかにした。ニューラルネットワーク計算を適用することで、水砕スラグの単位容積質量、平均粒径を精度よく推定でき、個々の水砕条件の影響を把握することも可能であった。これらの結果を基に、大粒径かつ高密度水砕スラグ製造プロセスを提案し、専用の新設備を建設した。通常よりも冷却水流速を低下させることで、大粒径かつ高密度の水砕スラグを製造できることを実証した。ニューラルネットワーク計算は、水砕スラグ製造条件の最適化、設備設計にも有効な手段であることがわかった。

第4章では、低熱伝導度のスラグから高効率で熱回収するため、顕熱回収に適した形状に製鋼スラグを凝固する条件を検討した。熱伝導度の小さい製鋼スラグの顕熱を効率的に回収するため、水冷双ロール方式で薄い板状にスラグを凝固後、向流式充填層で空気と熱交換するプロセスを想定した。伝熱解析から、向流式充填層で空気と熱交換する場合、厚みが薄いほどスラグからの熱回収率は増加し、回収ガス温度は高くなることがわかった。直径が1.6mの水冷銅製双ロール方式のパイロット設備を建設し、熔融製鋼スラグを約1t/minで供給し連続的に約7mmの薄板状に成形できることを確認した。ロールを用いて連続的にスラグを板状に成形するためには、スラグの流動性が重要であり、液相率が60%以上のスラグが適していることを見出した。スラグの厚みは、ロールとの接触で冷却され凝固した厚みよりも、ロールに付着して巻き上がる熔融スラグの厚みの方が大きく、スラグの厚みは、スラグ粘度、ロール周速の影響を大きく受けることを明らかにした。

第5章は結論であり、本研究の内容を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (當 房 博 幸) | | | |
|-----------------|-----|-----|---------|
| | (職) | 氏 | 名 |
| 論文審査担当者 | 主査 | 教 授 | 田 中 敏 宏 |
| | 副査 | 教 授 | 竹 内 栄 一 |
| | 副査 | 教 授 | 山 下 弘 巳 |
| | 副査 | 准教授 | 小 野 英 樹 |

論文審査の結果の要旨

我が国では年間約 1.1 億トンの粗鋼が生産され、同時にほぼ同体積のスラグが副生物として生成しており、その再資源化が大きな問題となっている。そこで、高炉スラグをコンクリート用粗骨材、細骨材へ利用すれば、従来から利用されている石灰石、硬質砂岩等の天然資源の消費を抑制できる利点がある。しかしながら、現行のプロセスで生じる高炉徐冷スラグや高炉水砕スラグは多孔質であり、天然骨材と同様に扱うことができないのが現状である。さらに、鉄鋼スラグは発生した時点では高温であるため、スラグの顕熱を有効に利用するための新たなプロセスの開発も切望されている。鉄鋼スラグを有効に活用するためには、用途、需要に応じた密度・形状や顕熱を回収しやすい形状に加工することが必要である。そこで本研究では、鉄鋼スラグを有効活用するための密度および形状を制御する冷却凝固プロセスの開発に関する検討を行っている。本論文はこれらの成果についてまとめたもので、以下のように要約される。

1. 天然骨材と同等の品質となる高炉スラグ粗骨材を製造するため、高炉徐冷スラグの気孔を低減し高密度化する凝固条件を検討している。高炉徐冷スラグの気孔は冷却過程での酸素との接触により生ずること、気孔率低減には冷却速度の増加が有効であることを明らかにしている。実際の熔融高炉スラグを板状に凝固する実験ならびに一次元非常伝熱解析から、スラグの熱伝導度が小さいため中心部の冷却速度は遅いこと、厚みの薄い板状に凝固させることが冷却速度増加に最も有効であることを見出している。これらの結果を基にして、高炉スラグ板状凝固パイロット設備を設計し、120秒程度の短時間で高炉スラグを20～30mmの板状に凝固させ、吸水率が1%以下、すりへり減量が15%の緻密で耐摩耗性の高いスラグ骨材が得られることを実証している。さらに以上の結果に基づき、天然石と同等の品質の高炉スラグを大量に製造する「回転平板鋳型式高炉スラグ連続凝固プロセス」を開発している。

2. コンクリート用細骨材の混合材に適した大粒径の高炉スラグ細骨材を製造するため、水砕スラグの粒径および密度を制御する冷却条件を検討し、平均粒径、単位容積質量に及ぼすスラグ温度、冷却水温度、ノズル形状の影響を明らかにしている。ニューラルネットワーク計算を適用し、水砕スラグの単位容積質量、平均粒径を精度よく推定でき、個々の水砕条件の影響を把握することが可能であることを見出している。これらの結果を基に、大粒径かつ高密度の水砕スラグ製造プロセスを提案・建設し、通常よりも冷却水流速を低下させることによって、大粒径かつ高密度の水砕スラグを製造できることを実証している。

3. 熱伝導度の小さい製鋼スラグの顕熱を効率的に回収するため、水冷双ロール方式で薄い板状にスラグを凝固後、向流式充填層で空気と熱交換するプロセスを想定し、低熱伝導度のスラグから高効率で熱回収するため、顕熱回収に適した形状に製鋼スラグを凝固する条件を検討している。伝熱解析から、向流式充填層で空気と熱交換する場合、厚みが薄いほどスラグからの熱回収率は増加し、回収ガス温度は高くなることを明らかにしている。直径が1.6mの水冷鋼製双ロール方式のパイロット設備を建設し、熔融製鋼スラグを約1t/minで供給し連続的に約7mmの薄板状に成形できることを見出している。ロールを用いて連続的にスラグを板状に成形するためには、スラグの流動性が重要であり、液相率が60%以上のスラグが適していることや、スラグの厚みは、スラグ粘度、ロール周速の影響を大きく受けることを明らかにしている。

以上のように、本研究では、鉄鋼スラグを有効活用するための密度および形状を制御する冷却凝固プロセスに関する検討を詳細に行い、粗骨材用高炉徐冷スラグの気孔率低減のための凝固条件や、高炉水砕スラグの粒度および密度に及ぼす水砕条件の影響を明らかにするとともに、顕熱回収に適した製鋼スラグ連続凝固プロセスの設計・開発を行っている。本論文は鉄鋼の副産物であるスラグの再資源化に対する新たな知見を多数含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。