

(707) 直流磁界による溶鋼流制動に関する実験と3次元シミュレーション

(溶鋼流れの電磁制動に関する基礎的研究-2)

新日本製鐵㈱ 設備技術本部
未来領域研究センター
大分製鐵所
製鋼研究センター

○米山泰章 片岡冬里 石川 隆
沢田郁夫
松沢圭一郎
竹内栄一

1. 緒言 前報¹⁾において直流磁界による電磁制動効果は流れ場の電氣的境界条件に強く影響を受けるとともに、その定量化においては流れ場内の電流経路を考慮した解析が必要であることを示した。ここではこれらの知見を基に3次元電磁流体解析を行うとともに、低融点合金および溶鋼を用いた実験結果との整合性を確認したので報告する。

2. 低融点合金実験結果 厚さ10mmの耐火物製流路の一部或いは全域に直流磁界を作用させ制動効率を測定した。実験方法は前報と同様であり、また実験条件はTable1に示す通りである。流路の一部に磁界を作用させた場合の効率は前報¹⁾と同様0.2~0.4であったが、流路全域に作用させた場合には制動効果はほとんど認められなかった。

3. 解析モデル 解析対象とする系において磁気レイノズル数が小さい場合、溶鋼中に誘起される電界は次のポアソン方程式で与えられる。

$$\text{div } \sigma \text{ grad } \phi = \text{div } \sigma (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) \quad (1) \quad \mathbf{E} = -\text{grad } \phi \quad (2)$$

この電界により溶鋼中を流れる誘導電流およびそのときに生じる電磁制動力(Lorentz力)はそれぞれ次式で表わされる。

$$\mathbf{J} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B}) \quad (3) \quad \mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (4)$$

これらの式と流体の運動の式、連続の式を連成させ有限体積法を用いて3次元シミュレーションを行った。

4. 解析結果 低融点合金を用いた実験の中で、均一磁界を流路全域に作用させた場合、流れに平行(L-断面)および垂直(C-断面)な中央断面に誘導される電流、電位の解析結果をFig.1(a),(b)に示す。この条件では流れに平行な面で電位勾配が流路長さ方向に関して等しくなるため、この面で電流は経路を形成できず流れに垂直な面でのみ経路を形成し電流の周り込みが大きくなる。このため電磁力は全体で相殺し合い、流れの制動効果は殆ど生じない。次に流路の一部に磁界を作用させた条件で前報¹⁾での溶鋼実験(厚さ15mmの耐火物製流路)の場合について考察する。このときの流れに平行および垂直な面の中央断面に誘導される電流と電位はそれぞれFig.2(a),(b)のようになる。Fig.2(a)の結果は2次元解析¹⁾の結果と同等となったが、これは流路形状が扁平なこと、および磁界印加領域が中央部のみであることによりFig.2(b)の電流周り込みが小さく、その影響が無視できるためである。さらに計算による制動効率も0.2と実験結果と良く一致した。また、低融点合金実験Ⅱの解析に関しても同様の結果が得られた。以上示した3次元電磁流体解析モデルによって電磁制動に関する実験結果を定量的に解析することができるといえる。また、このモデルにより連铸々型内における溶鋼流動の電磁制動についても解析を行い、その効果について定量的に評価した。

記号 $\mathbf{B}$: 磁束密度, $\mathbf{E}$: 電界強度, $\mathbf{F}$: 電磁制動力, $\mathbf{J}$: 電流密度
 $\mathbf{u}$: 流速, ϕ : 電位, σ : 導電率

文献 1) 松沢, 前田, 竹内, 和田: 本講演大会発表予定

Table 1. Experimental conditions

	I	II
Dimension of the flow channel	800 ϕ ×50w ×5t	800 ϕ ×50w ×5t
Magnetic density	uniform 0.55 Tesla	uniform 0.55 Tesla
Location of magnetic field	All over the channel	Center of the channel

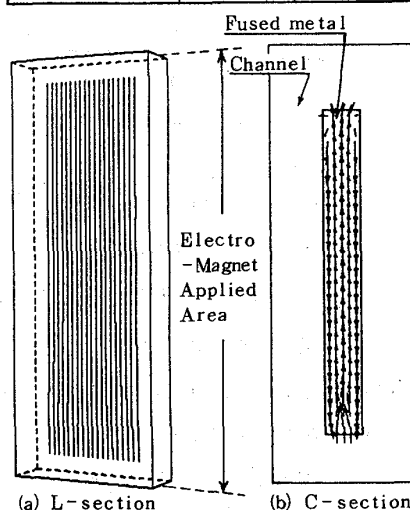
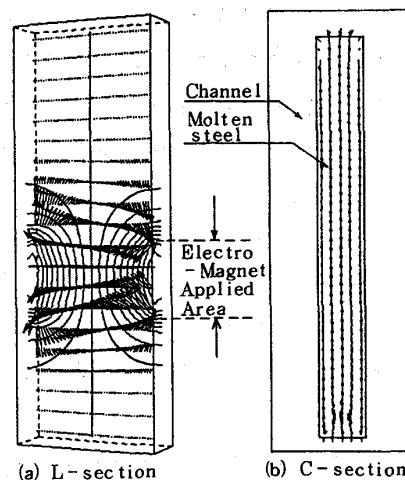


Fig.1 Induced current and equipotential line (Fused metal experiment(I))

Fig.2 Induced current and equipotential line (Molten steel experiment¹⁾)