

(706) 2次元溶鋼流れの電磁制動に関する実験と解析

(溶鋼流れの電磁制動に関する基礎的研究 1)

Experiment and Analysis on the Electromagnetic Brake in the Two Dimensional Steel Flow (The Electromagnetic Brake of Molten Steel Flow - 1)

新日本製鐵(株) 大分製鐵所 ○松沢圭一郎, 前田勝宏
製鋼研究センター 竹内栄一, 和田 要

1. 緒 言 直流磁界による溶鋼流れの制動は鋳型内電磁ブレーキとして利用されているものの, そのメカニズムに関しては十分に理解されていないのが現状である。本報告は溶鋼流れの電磁制動に関する研究の第1ステップとして, 扁平な耐火物製流路内を流れる溶鋼への直流磁場印加の実験, および流れ場内の電流経路を考慮した2次元電磁場モデルによる基礎的検討を行なったものである。

2. 装置と方法 実験装置の概要をFig. 1に, 実験条件をTable 1にそれぞれ示す。溶鋼は上部容器から耐火物製の扁平流路を通過して下部容器へ流出する。流路長さ方向の中央部に流路を垂直に横切る磁界を与え溶鋼に電磁力を付与した。流量は上部容器の重量変化をロードセルにて測定し算出した。最初に磁場を印加せずに溶鋼を流出させ流路の抵抗係数を求め, 次に直流磁界を与えて流動抵抗の増加を測定し, これを電磁ブレーキの効果として取り出した。

3. 結果と考察 実験結果をFig. 2に示す。流路内で溶鋼が充満し, 一定流速で流れていると仮定した時の流路系内のエネルギーバランスは(1)式のように表わされる。

$$\left(\frac{1}{2} + \lambda\right) \rho v^2 = (h_0 + H_1 + h_3) - \beta \sigma B^2 L \quad (1)$$

$$\text{なお, } h_0 = H_0 - Q/A_0 \quad (2), \quad h_3 = H_3 - Q/A_3 \quad (3)$$

(1)~(3)式を微小時間 Δt 毎に解いた結果を同図中に示したが, 制動効率は $\beta = 0.2 \sim 0.4$ である事がわかる。一方, 系を2次元化した際の電磁場を支配する式は次の様に表わされる。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) B_z - u \frac{\partial B_z}{\partial y} + v \frac{\partial B_z}{\partial x} \quad (4)$$

$$\text{ここで, } E_x = -\partial \phi / \partial x \quad (5), \quad E_y = -\partial \phi / \partial y \quad (6)$$

$$\text{また, } \begin{pmatrix} J_x \\ J_y \end{pmatrix} = \sigma \begin{pmatrix} E_x + v B_z \\ E_y - u B_z \end{pmatrix} \quad (7), \quad \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_y B_z \\ -J_x B_z \end{pmatrix} \quad (8)$$

これらを所定の電氣的境界条件の下で解き電流経路, Lorentz力を計算した。実験で使用した耐火物流路の場合のように流路壁が絶縁されている場合の結果をFig. 3に示すが, 溶鋼中を流れる電流は大きな渦を形成し制動効率は0.65となる。さらに流路内の流れが一定の流速分布を持つと仮定した場合制動効率は実験結果とほぼ一致した。

記号 A_i : 流路系各部断面積, B : 磁束密度, E : 電界強度, F : Lorentz力
 g : 重力加速度, H_i : 流路系各部高さ, J : 電流密度, Q : 溶鋼流量
 u : x (重力) 方向の流速, v : y (流路長辺) 方向の流速
 β : 電磁制動効率, λ : 流路の抵抗係数, ρ : 流体の密度
 σ : 流体の導電率, ϕ : 電位ポテンシャル

文 献 1) J. A. Shercliff: A Textbook of Magnetohydrodynamics, Pergamon Press (1965).

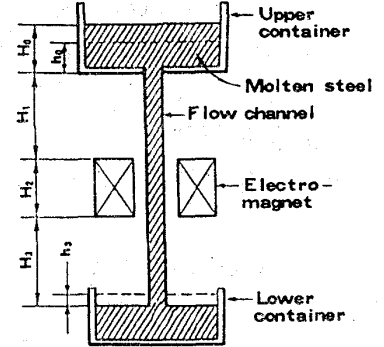


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system.

Table 1 Experimental conditions.

	Type A	Type B
Channel cross section	15×220mm	
Channel length	1150 mm	
Weight of steel	198kg	187 kg
Distribution of magnet density in the direction of the channel width	0.55 Tesla (Uniform)	0.15 to 0.55 Tesla

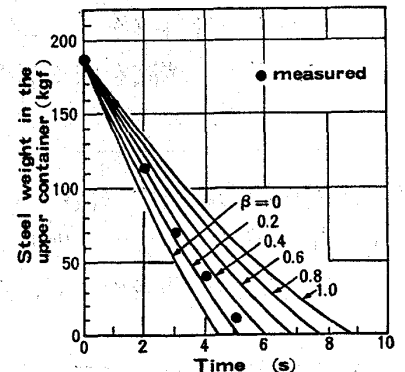


Fig. 2 Efficiency of electromagnetic-brake in the experimental system (Type A).

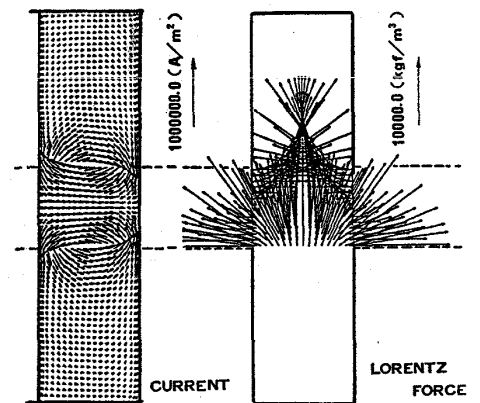


Fig. 3 Calculated current density and Lorentz force.