

(710) 直流磁界による溶融金属表面波動抑制効果の解析

住友金属工業株式会社 総合技術研究所 六車俊範, ○小林純夫¹⁻³⁾

1. 緒言: 直流磁界による溶融金属表面波動抑制に関する検討結果がいくつか報告されている。これらは、いずれも波面と磁力線の方法が平行な水平磁界に関するものであり、垂直磁界については検討されていない。直方体容器内の長い波に対する垂直磁界の抑制効果を理論的に検討した。

2. 理論: 平均深さ h の溶融金属の表面波動高さを ξ とすると、長い波に対して次式が成り立つ。

$$\partial \xi / \partial t = -\nabla \cdot (hV) \quad (1), \quad \partial V / \partial t = -\nabla (g\xi) + J \times B / \rho \quad (2).$$

ここで、 V : 水平方向速度、 g : 重力加速度、 J : 電流密度、 B : 印加磁界 ($=B \nabla Z$)、 ρ : 溶融金属密度、である。電流保存則より、電流流れ関数 Ψ を導入し、 $J = \nabla \times (\Psi \nabla Z)$ (3)、とおける。質量保存則およびオームの法則を考慮し、(1)~(3)を整理すると、代表長を h 、代表時間を $\sqrt{h/g}$ 、代表電流密度を $\sigma \sqrt{gh} B$ (σ : 電気伝導度) とする正規化変数に対して次式が成り立つ。ここで、 h 、 B は一定、 $N = \sigma B^2 \sqrt{h} / \rho \sqrt{g}$ (相互作用変数) とした。

$$\partial^2 \xi^* / \partial t^{*2} + N \partial \xi^* / \partial t^* = \nabla^{*2} \xi^* \quad (4), \quad \nabla^{*2} \Psi^* = \partial \xi^* / \partial t^* \quad (5).$$

境界上では、 $\partial \xi^* / \partial n + N \partial \Psi^* / \partial n = 0$ (6)、および、 $\partial \Psi^* / \partial n = 0$ (完全導体境界) あるいは $\Psi^* = 0$ (絶縁体境界) (7)、が成り立つ。ここで、 n : 境界上法線方向座標、である。

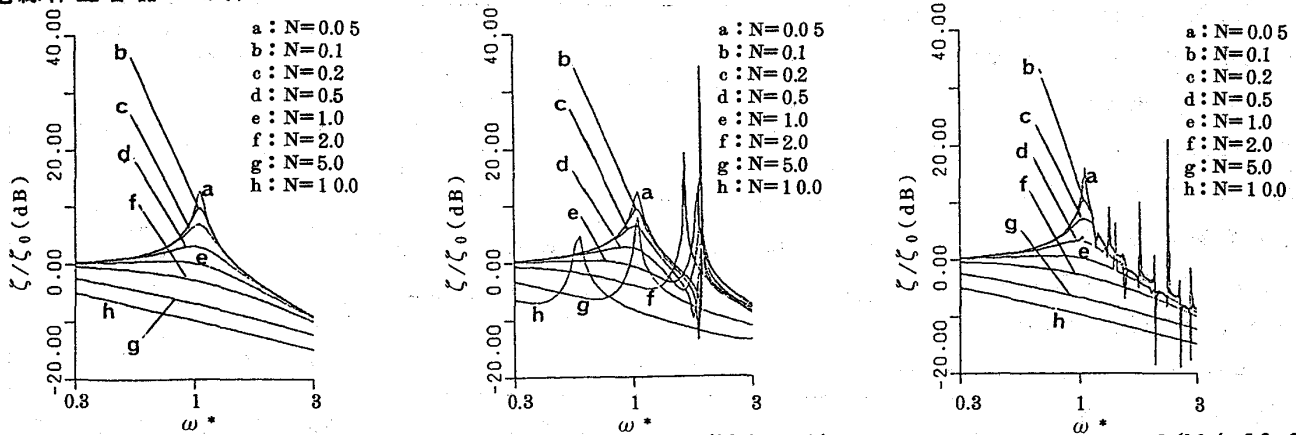
水平磁界による表面波動の抑制には磁場勾配の存在が必要であるが、垂直磁界の場合には、(4)式中の減衰項 $N \partial \xi^* / \partial t^*$ の存在より、境界条件によらず、つねに波動の抑制作用のあることが分る。

3. 解析内容・結果: x^* 方向に無限長、 y^* 方向の幅が $2b^*$ の容器を考え、(4)式の右辺に、角周波数 ω 、の外乱、 $k^2 \xi_0 \cos(kx^*) e^{j\omega t}$ が加わったときの、周波数特性を解析した。絶縁体壁結果は次の通りである。導体壁の場合は、右辺第2項を零とおけば良い。

$$\xi_0 = \frac{1}{\gamma^{*2}} \frac{j\omega^* (N^* + j\omega^*) N^* \tanh(kb^*) \cosh(\gamma^* ky^*)}{\gamma^{*2} [\gamma^* \sinh(\gamma^* kb^*) (2N^* + j\omega^*) - N^* \cosh(\gamma^* kb^*) \tanh(kb^*)]} \quad (8)$$

ここで、 $\gamma^{*2} = -\omega^{*2} + jN^* \omega^* + 1$, $N^* = N/k$, $\omega^* = \omega/k$, である。(8)式より、櫃中央 ($y^* = 0$) では、 $kb^* \rightarrow 0$, $kb^* \rightarrow \infty$ のいずれの場合も、右辺2項は零に近づくので、導体壁と絶縁体壁の差が少なくなることが分る。 $y^* = 0$ における周波数特性の計算結果例を Fig. 1(I)~(III) に示す。

絶縁体壁容器の場合にはいくつかのピークが出るが、これは幅方向の振動モードによるものである。



(I) Conducting Vessel (II) Insulating Vessel ($kb^*=1.0$) (III) Insulating Vessel ($kb^*=10.0$)

Fig.1 Frequency Response of Surface Waves

<文献> 1) 小塚敏之, 他; 鉄と鋼 72(1986), S716 2) 小塚敏之, 他; 鉄と鋼 72(1986), S1652

3) 林田道称, 他; 鉄と鋼 73(1987), S686 4) 今井 功; 岩波全書「流体力学」