

(39) 高炉下部における固体粒子運動のシミュレーション

名古屋大学 工学部 磯部若一 桑原 守 鞭 巖

1. 緒言 前報¹⁾では高炉羽口先のコーワスの燃焼に伴う消滅過程を、2次元充填層モデルドライアイス粒子の昇華によって模擬する試験を行い、レースウェイ回りの固体の運動を可視化し、さらに、流体力学の理論に基づいて解析した結果について報告した。本研究では前報と同種の実験を3次元の場合について行い、2次元系との実験結果の差異について検討した。また3次元モデルで炉芯形状を観察し、その結果と炉芯形状を推定する理論式による推定結果との比較検討を行った。

2. 実験の方法と結果 実験装置は中心角90°のアクリル製扇形充填層(半径70mm, 高さ320mm)で曲面の壁に内径5φの羽口が等間隔に5本設置してある。充填粒子にはドライアイスの破砕粒子(6~8 mesh)を用い、16ガスを羽口より吹き込み、羽口先でドライアイスが昇華させ、それに伴って起こる固体粒子の運動を観察した。その際、一定時間間隔でコーワス粒子(6~8 mesh)を層頂で水平に装入し、タイムラインの経時変化を可視化した。図1は層高22cmの充填層にガスを200l/minで吹込んだ時の写真観察結果を示す。2次元の場合の実験結果²⁾と同様に、上方の粒子はレースウェイに向かって、主流部での粘性流体に類似した挙動を示しながら降下している。しかし、3次元の場合炉芯の傾きは2次元の場合より小さい。

3. 理論による炉芯形状の推定 高炉の炉芯形状は炉下部の固体流れを規定する重要な因子であるが従来その理論解析の研究は少なく未解決の問題が多い。ここでは粉体圧を推定する式をWaltersの手芸³⁾を用いて導出し、さらにモールの応力円における幾何学的関係に基づいて炉芯の形状を決定する(1)~(4)式を得た。

$$-dr/dl = \tan \alpha \dots\dots (1), \quad \alpha = 45^\circ - \phi/2 - 0.5 \cdot \tan^{-1} \left\{ (r/R) \cdot F_w / (\tan \phi + \sec \phi \cdot \sqrt{\sin^2 \phi_i - F_w \cos \phi_i}) \right\} \dots\dots (2),$$

$$F_w = \sin \phi_i \cdot \sin^2(\theta + \theta_0) / \{1 + \sin \phi_i \cdot \cos 2(\theta + \theta_0)\} \dots\dots (3), \quad 2\theta_0 = 90^\circ + \phi_w + \cos^2 \phi_i \sin \phi_w / \sin \phi_i \dots\dots (4).$$

図2には、上式を用いて推定した炉芯の形状と実験で観察した形状を比較して示した。両者は比較的良好一致している。このことは、炉下部が主働状態にある場合の炉芯形状は、炉芯周囲に粒子運動が存在していても(1)~(4)式で推定できることを示唆している。

記号 r:半径方向の距離, l:軸方向の距離, R:中心軸から壁までの距離, α:鉛直軸とすべり面の間の角度, φ:内部摩擦角, φ_w:壁面摩擦角, θ₀:壁面と鉛直軸の間の角度(炉胸部で正, 朝鮮部で負の値), F_w:壁面でのl方向に働くせん断応力(τ_{lw})と水平応力σ_rの比: F_w = (τ_{lw}/σ_r) (円筒の場合は F_w = tan φ_w)。

文献 1)桑原, 磯部, 鞭: 鉄と鋼, 66(1980), 5640 2)H. Nishio, W. Wenzel, and H. W. Gudenus; Stahl u. Eisen, 97(1977), p. 867, 3)J. K. Walters; Chem. Eng. Sci., 28(1973) p. 13.



(a) 4 min後 (b) 8 min後 (c) 16 min後
図1 粒子運動のタイムライン

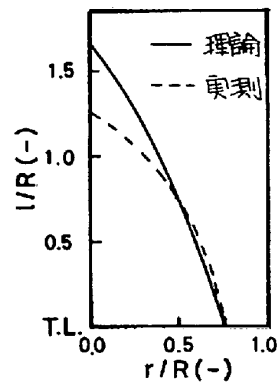


図2 不動炉芯の形状