

(20)

単一球からの物質移動
(酸化鉄ペレットの脈動還元反応速度-III)

大阪大学 工学部 近江京一 碓井建夫 ○松本義朗

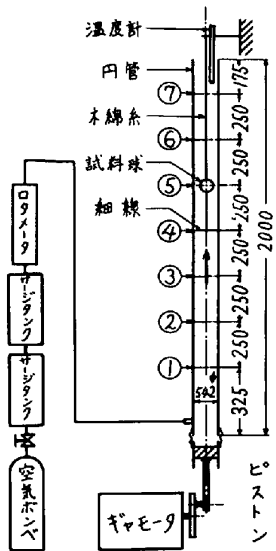


図1 実験装置の概要

1. 緒言 酸化鉄ペレットの脈動還元¹⁾²⁾

においてガス境膜内物質移動係数を評価する目的で円管内における単一球からの物質移動をナフタリン球を用いて定常流および脈動流のもとで測定した。なお、管内および球のまわりの圧力、速度を測定し、流体力学的な考察も試みた。

2. 実験装置と方法

2.1. 単一球からの物質移動 図1に実験装置の概要を示す。試料には図2のように鋼球に針

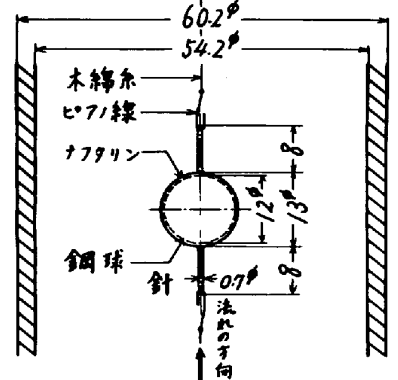


図2 ナフタリン球の設置図 測定断面 No.5

つけナフタリンをコーティングしたものをを用いた。昇華の場合、固体の表面は固体の蒸気下飽和していると考え³⁾⁴⁾主流中での固体蒸気濃度は非常に小さいとすると物質移動係数 k_f は

$$k_f = \Delta W / (\Delta t \cdot A \cdot C) \quad (1)$$

で算出できる⁵⁾。空気-ナフタリン系の拡散係数は

$$D = 0.0513 \left(\frac{T}{273} \right)^2 \frac{760}{P_0} \text{ cm}^2/\text{s}, \quad (2)$$

蒸気圧は

$$\log p = 11.7797 - \frac{3812.34}{T} - 0.02593 \log T. \quad (3)$$

2.2. 単一球がある場合の圧力、速度 図1のNo.4の位置に鋼球を図3のように管中心に設置し、圧力は測定断面No.1~7で垂ケージ型圧力変換器を用いて測定した。No.4を除く各位置で管中心の速度を、No.6で管横断面速度分布を熱線を用いて測定した。さらに、球面上の圧力を、球を回転させて、流れに対する各位置 θ で測定した。

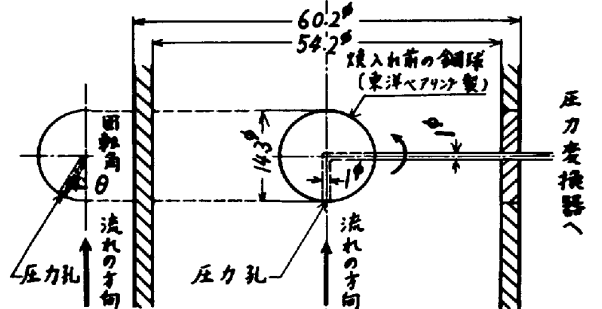


図3 球面上の圧力測定部 測定断面 No.4

3. 実験結果と考察

3.1. ナフタリン球からの物質移動

3.1.1. 定常流の場合 管横断面平均速度 U_m を用いて Re_p 数を計算しナフタリンの昇華量から求めた k_f とから

$Sc^{1/3} Re_p^{1/2} - Sh$ をプロットすると図4のようになる。

$$Sh = 1.93 + 0.811 Sc^{1/3} Re_p^{1/2}. \quad (4)$$

次に $u = 2U_m$ を用いて Re_p 数を計算すると

$$Sh = 2.36 + 0.579 Sc^{1/3} Re_p^{1/2}. \quad (5)$$

図にはFrösslingにより導かれた式³⁾

$$Sh = 2 + 0.55 Sc^{1/3} Re_p^{1/2} \quad (6)$$

を示したが Re_p 数に $u = 2U_m$ を用いた方がよく一致している。

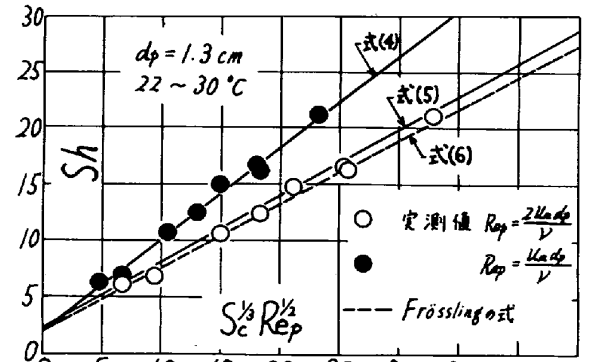


図4 定常流れの物質移動; $Sc^{1/3} Re_p^{1/2}$ 対 Sh

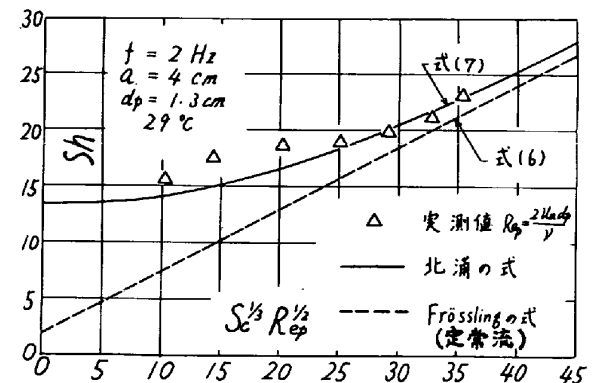


図5 脈動流れの物質移動; $Sc^{1/3} Re_p^{1/2}$ 対 Sh

3.1.2. 脈動流れの場合

前と同じ条件下周波数2Hz 振幅4cmの脈動を発生させた時の単一球からの物質移動についての測定結果を示す。脈動速度は変動速度に定常速度を加えたものであるとして、

球に向かう定常速度を2U_mとし、前と同じようにRe_p数を計算し、ShとRe_p^{1/2}-Shを示した。図には北浦ら⁶⁾によって求められた粒子に振動を付加した場合の式

$$Sh = \left[(2 + 0.55 Sc^{1/3} Re_p^{1/2})^2 + (0.35 Sc^{1/3})^2 \left(\frac{2\pi a f}{u} \right)^2 \left(\frac{3u}{2\pi d_p f} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

を示した。本実験は気流に脈動を発生させたが、上記北浦の式を用いても比較的よい一致がみられる。

3.2. 単一球がある場合の圧力速度

3.2.1. 定常流れの場合 管内の速度はほぼ放物線分布となっている。⁷⁾ したがって前述のようにu=2U_mが妥当である。

3.2.2. 脈動流れの場合 周波数2Hz、振幅4cm、流量5l/minの場合の実験結果を示す。図6,7に管内変動圧力、管中心変動速度の実効値、位相の管軸方向の分布を示す。両者は実効値、位相とも平坦な分布となり、球がない場合のものと同様な変動であり、脈動は十分に球に伝わっている。図8に管横断面脈動速度分布を示す。時間平均値はほぼPoiseuille分布をしている。さらに図9に無次元実効値、位相で変動の状態を示す。管壁付近では実効値にピークがあり、位相は管中心部より進んでいるが、管中心部では両者とも平坦な分布をしており、球がない場合の理論⁸⁾、実験結果⁷⁾と一致している。したがって振動の場合の北浦の式を脈動流れにもほぼ適用できる。なお、図10に球面上の変動圧力の実効値、位相分布を示す。球面上いたるところで平坦な分布をしており、その値は管内全体の圧力変動とほぼ一致している。

4. 結言

- i) 球が円管内にある場合 u=2U_mとするのが妥当である。
- ii) 北浦の式は脈動流れでもほぼ適用できる。
- iii) (i),(ii) のことは圧力、速度の測定から裏づけられた。

文献 1) 近江, 碓井, 谷口: 鉄と金剛, 58 (1972)4, S11.

- 2) 近江, 碓井: 鉄と金剛, 58 (1972)11, S
- 3) N. Frössling: Gerlands Beitr. Geophys., 52 (1938), 170.
- 4) W.E. Ranz, W.R. Marshall: Chem. Eng. Prog., 48 (1952)3, 141.
- 5) 八木, 小野, 小森: 学振54委員会資料, 54巻-1098 (1967).
- 6) 北浦, 田中, 上田, 小島: 化学工学, 33 (1969)2, 175.
- 7) 近江, 碓井, 平崎, 松本: 機講論, No. 724-7 (1972), 55.
- 8) 近江, 碓井: 機講論, No. 714-7 (1971), 27.

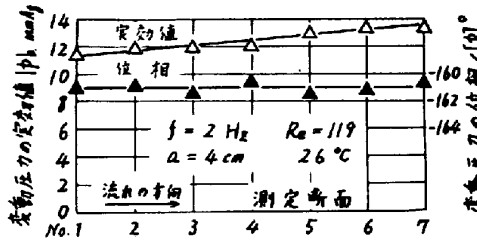


図6 管内変動圧力の実効値、位相分布

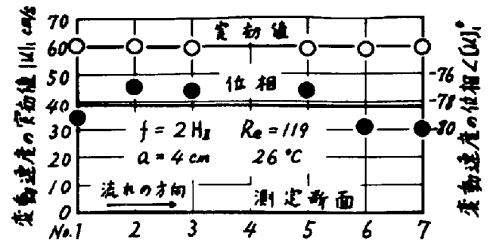


図7 管中心変動速度の実効値、位相分布

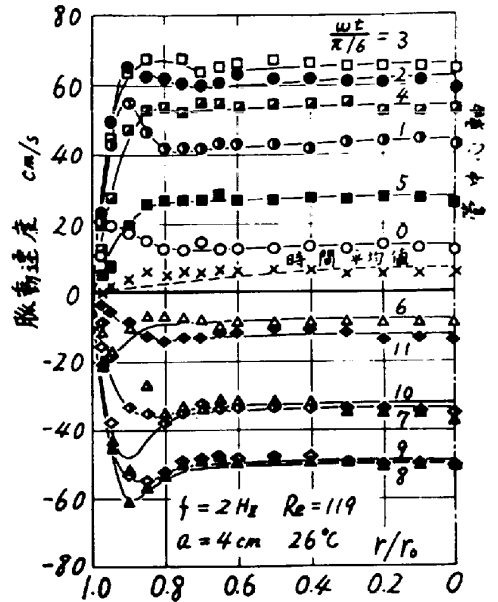


図8 管横断面脈動速度分布 測定断面 No. 6

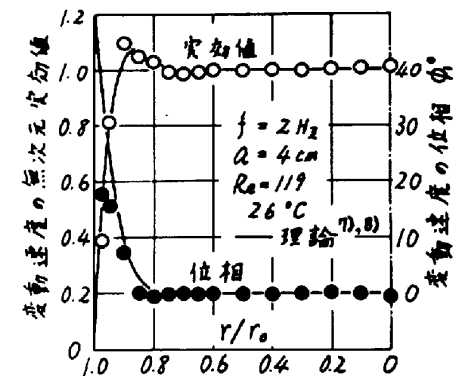


図9 管横断面変動速度の無次元実効値、位相分布 測定断面 No. 6

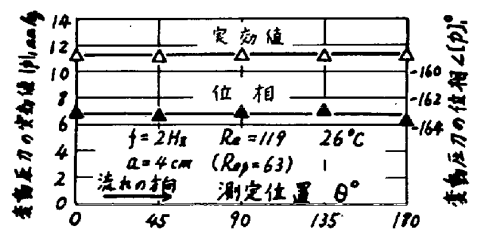


図10 球面上の変動圧力の実効値、位相分布 測定断面 No. 4