

II-243 直角バンド管内の流速ベクトル分布測定

(財) 電力中央研究所 正会員 尾崎 幸男
(財) 電力中央研究所 正会員 田中 伸和
(財) 電力中央研究所 正会員 丸岡 計

1. はじめに

高速増殖炉(FBR)の主冷却系配管は、高温(500℃)のナトリウム流れによる熱応力を逃がすために薄肉でバンド部の多い複雑な配管系となっている(図-1)¹⁾。また、電気出力が100万KW級の実証炉では管径1m、厚さ1cmおよび流速10m/s程度のものが考えられている。ナトリウムの動粘性係数は500℃で $0.002914(\text{cm}^2/\text{s})$ 、密度は $0.8342(\text{g}/\text{cm}^3)$ であるので、このときの管内流のReynolds数は、 $Re = VD/\nu = 3.43 \times 10^7$ となりかなりの高Reynolds数の流れである。したがって、高Reynolds数の乱流および複雑バンドに帰因する壁面圧力変動と配管自体の振動現象を把握することが主冷却系配管の設計および安全性の上で重要な研究課題の一つとなっている。

本研究は、この中で最も基本的な単一直角バンド管内の二次流を含む流速ベクトル分布および静圧分布を水理実験により測定した結果についてとりまとめたものである。

2. 実験設備および測定方法

実験設備は図-2に示すとおり、全長約24m、内径30.5cmおよび曲率半径50cmの単一直角バンドを有する円形断面管路である。この設備ではポンプの脈動による圧力変動に及ぼす影響をできるだけ消すために管中心からのヘッドが約6.2mのヘッドタンク方式により最大約410ℓ/sまでの流量を出すことができる。このときの最大Reynolds数は約 1.7×10^6 である。

流速ベクトルおよび静圧分布の測定には理化精機工業(株)製作の直径10mmの球型5孔式ピトー-ヨーメーターを用いた。ピトー球には中央測圧孔の他に上下左右にそれぞれ中央から43°の位置に0.6mmの測圧孔が付いている。各測圧孔の圧力係数と回転角との関係とあらかじめ較正実験により求めたことにより、任意の角度の流速ベクトルとその実際の静圧を知ることができる。

実験条件は表-1に示すように、 $Re = 3.2 \times 10^5 \sim 1.1 \times 10^6$ の範囲である。また、座標系(図-2)は流下方向にX、水平方向はバンド内側(東)から外側(西)方向には、および鉛直上方にZ軸を取り、それぞれの流速成分を U_x および U_z とする。なお、この座標系はあくまでも測定上の便宜のためであり、理論解析上は (r, θ, ϕ) の曲線直交座標系が通常用いられている²⁾。

3. 結果

(a) X方向流速 U_x/V : 断面平均流速Vで無次元化した主流の流速分布の一例を図-3および図-4に示

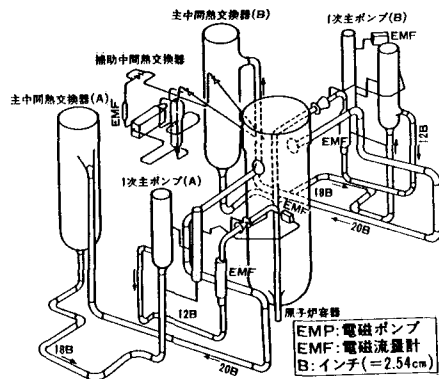


図-1 高速増殖炉(実験炉・常陽)における一次主および補助冷却系配管配置図例

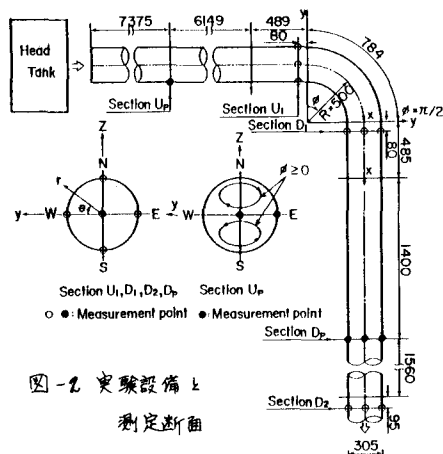


図-2 実験設備と測定断面

表-1 実験条件

Run No.	Section	$Q(\text{l/s})=$	$Re(VD/\nu)=$
1 ~ 6	U - NS	100.7 ~ 300.7	$3.48 \times 10^5 \sim 1.05 \times 10^6$
7 ~ 12	U - EW	100.0 ~ 302.2	$3.51 \times 10^5 \sim 1.08 \times 10^6$
13 ~ 20	D1 - NS	97.1 ~ 301.9	$3.23 \times 10^5 \sim 1.05 \times 10^6$
21 ~ 27	D1 - EW	102.2 ~ 303.2	$3.41 \times 10^5 \sim 1.02 \times 10^6$
28 ~ 33	D2 - NS	100.9 ~ 303.2	$3.50 \times 10^5 \sim 1.06 \times 10^6$
34 ~ 40	D2 - EW	100.0 ~ 302.8	$3.51 \times 10^5 \sim 1.05 \times 10^6$

した。ここでは、ベンド部の $\phi = 0$ から上流 $x/D = 0.26$, $\phi = \pi/2$ から下流 $x/D = 0.26$ および 1.60 地点の鉛直分布と水平分布を示した。

ベンド直下流 (D_1) での鉛直分布は Mori & Nakayama (1967)³⁾ の実験値と Patankar et al. (1975)²⁾ の理論値 [$Re = (2.5 \sim 8.9) \times 10^4$, $R/a = 25.9, 40$]

とはほぼ同一の傾向を示しているが、

水平分布は全く異なっている。この原因は Reynolds 数のみならず曲率半径比 R/a (本実験では 3.3) の違いに強く依存しているものと考えられる。

FBR 実験炉では $Re = O(10^6) \sim O(10^7)$, $R/a = O(1)$ の配管となることから本実験と同様の実験および理論がさらに重要となる。

(b) 二次流 U_y/V および U_z/V : 実験結果の一例を図-5, 6 に示した。測定地点は $\phi = \pi/2$ から下流 $x/D = 2.6$ の D_1 断面である。

ここで U_y/V の鉛直、水平分布に顕著な分布をもつことが認められる。

(c) 静圧分布 : 測定地点は (b) と同一である。鉛直分布は静水圧 (直線) 分布と比較するために $\rho g a$ ($a = D/2$) で無次元化して図-7 に示した。また、水平分布は平均流速の動圧 $(1/2)\rho V^2$ で無次元化して図-8 に示した。

これらの図から、鉛直分布は Reynolds 数が大きくなると壁面近傍で直線分布からずれていく変化が特徴的であるが、

水平分布には Reynolds 数の影響があまり明確に出ていないことがわかる。

4. おわりに

本報告ではベンド管内流れの測定結果の一例を示したが、今後はさらに $0 \leq \phi \leq \pi/2$ の範囲内での詳細な実験とともに理論解析を行う。また、現在は乱流および複雑ベンドに帰因する壁面圧力変動を測定しているが、これらの結果に基づいて管内流れと配管の建成振動現象を解明し、得られた知見を FBR 主冷却系配管の配置を含む最適設計に反映させていく計画である。

5. 謝 辞

本実験を遂行するに当たり、絶大なる御協力を賜った (株) シー・アール・エス 菅野 順一氏に対して深甚なる感謝の意を表す次第である。

6. 参考文献 1) 動燃炉事業団 : 高速実験炉「常陽」, 1977. 2) Patankar, S.V., Prata, V.S. and Spalding, D.B. : J. F.M., vol. 67, pt. 3, 1975, pp. 583-595. 3) Mori, Y. and Nakayama, W. : Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 10, 1967, pp. 37-57.

$Re = 6.47 \times 10^5 - 6.84 \times 10^5$
($Q = 200 \text{ l/sec}$)

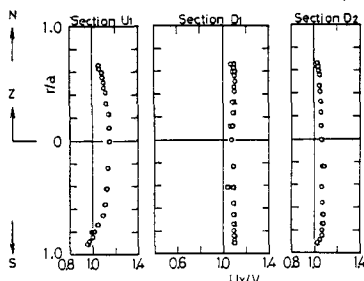


図-3 主方向流速の鉛直分布

$Re = 6.66 \times 10^5 - 7.05 \times 10^5$
($Q = 200 \text{ l/sec}$)

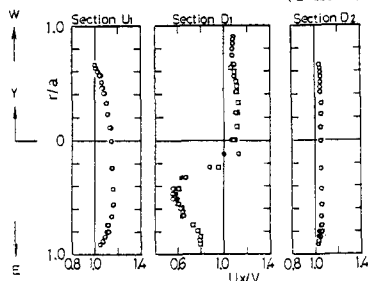


図-4 主方向流速の水平分布

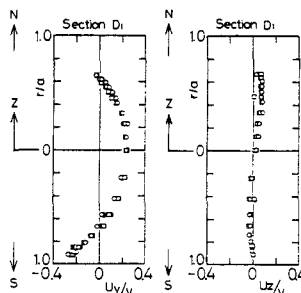


図-5 二次流の鉛直分布

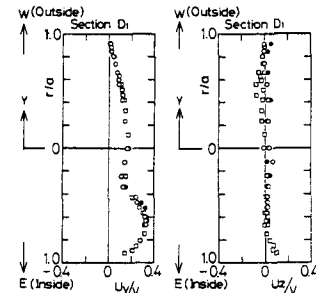


図-6 二次流の水平分布

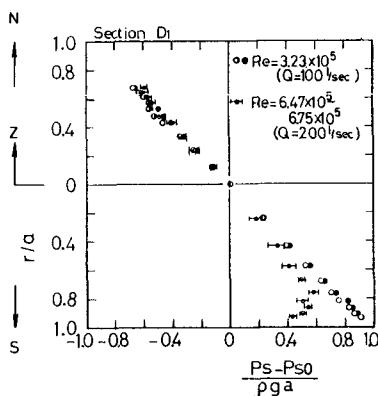


図-7 静圧の鉛直分布

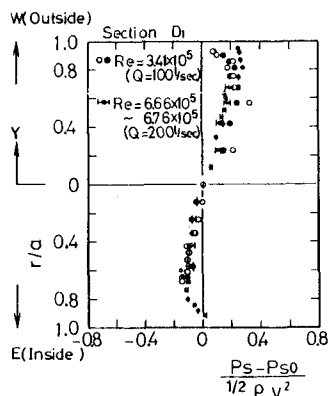


図-8 静圧の水平分布