A fundamental study on cavity flow in the branch pipe of main pipe

○学 濱谷 大輔 (神戸大院) 学 佐々木真一 (神戸大工) 正 竹中 信幸 (神戸大工)

正 中村 晶 (INSS) 正 村瀬 道雄 (INSS)

Daisuke Hamatani, Shinichi Sasaki, Nobuyuki Takenaka,

Akira Nakamura, Michio Murase

Dept. of Mech. Engng., Kobe Univ., Rokkodai-cho, Nada, Kobe 657-8501

Institute of Nuclear Safety System, Inc., 64 Sata, Mihama-cho, Mikata-gun, Fukui

Cavity flow may occur at a branch pipe of a main pipe. Thermal stratification and temperature fluctuation may occur when the cavity flow reaches the bend of the branch pipe. The purpose of this study is to clarify these phenomena by visualization, and the flow patterns and the distances of their transition points were classified. Adiabatic experimental studies were carried out by using a vertical straight pipe and a bent pipe with a horizontal section as a branch pipe connecting to a main pipe where the flow velocity was up to 15m/s. Flow patterns were divided into three regions. The experimental results were similar for both pipes. The third flow pattern connecting to the stagnant water is a spiral flow fluctuating with an interval of several tens seconds. It was estimated that this fluctuation might cause the temperature fluctuation in diabatic system.

Key Words: *cavity flow, thermal stratification, branch pipe*

1. 緒言

プラント主配管から分岐した枝管では、キャビティーフローが発生し主配管の高温流体が枝管に潜り込む。このキャビティーフローが枝管の曲がり部にまで及ぶと、熱成層や温度変動が生じ、エルボ部の熱疲労の原因となる可能性がある。原子力プラントでこの熱疲労の発生事例があり、未然防止の観点から数値解析による評価が検討されている。しかしキャビティーフローの構造は複雑であり、そのメカニズムを明らかにする基礎研究が求められている。そこで本研究では、まず等温場での潜り込み現象の流れの可視化を行い、流動様式の領域を分類して潜り込み深さの定量評価を行った。枝管が鉛直管の場合、及び水平部付き曲がり管の場合について実験を行った。

2. 実験装置

Fig.1 に実験装置の概略図を示す。作動流体には脱気した水を用いた。ポンプから送り出された水はバルブ V1, V2 で流量を調整され流量計を通り試験部に流入し、試験部から冷却器を経て再びポンプに戻る。ポンプの入熱による流体の温度上昇を冷却水で調節することにより、ループ内の流体温度を一定に保つ。

主配管の形状を Fig.2 に示す。試験ループはステンレス製であるが、内部の流体を可視化するために試験部はアクリル樹脂製とした。主配管断面形状は矩形である。枝配管との接続部で主配管内の流れが十分発達するように、矩形ダクト入口から接続部までを 600mm、水力等価直径の約 35 倍にした。接続する枝管には鉛直管と水平部付き曲がり管の二通りの試験部を使用した。枝管形状を Fig.3 に示す。

それぞれの試験部について主配管の流速を 1m/s から 15m/s まで上昇させ、潜り込み深さの測定と流動状態の観察、領域分類を行った。ループ内の流体温度は枝管内の流体温度(常温)と同じに調整した。流体の可視化のために用いたトレーサーは、発泡スチロール粉末をアルコールでぬれをよくし水に混入した。トレーサー密度は常温水とほぼ等しく、トレーサー粒子は停滞水中では完全に静止していた。

3. 実験結果

鉛直管試験部

鉛直管内での流動状態の概略図を Fig.4 に示す。流動様式を三つの領域に分類した。Region1 は主配管から流体が直接侵入して、枝配管内の流体と混合し比較的安定な縦渦を形成

している領域である。Region2 では上下方向の流速の変化が激しく、非定常な渦が形成され激しくかき乱されており領域の長さは変動する。Region3 では旋回渦が支配的になり、管の中心部分では流体が鉛直上方に吸い上げられる。この領域では数十秒周期で旋回渦の流速が変化する。本研究ではこの旋回渦の流速を変化させる要因となるものを“バースト”と呼ぶことにする。

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig.2 Main Pipe

Fig3. Branch Pipes

流速を上げていくと全体としての潜り込み深さは長くなる。しかし Region1 の長さは大きく変化せず、安定な縦渦となっている。流速と潜り込み深さの関係を Fig.5 に示す。縦軸はそれぞれの領域下端までの潜り込み深さ $L1 \sim L3$ を枝管の直径 D で無次元化してある。横軸は主配管ダクト内平均流速を示している。

水平部付き曲がり管試験部

水平部付き曲がり管試験部の流動状態の概略図を Fig.6 に示す。鉛直管の実験結果と同様に三つの領域に分類される。各領域の定性的な傾向は同じであるが、曲がり部に Region3 の領域が入り込むと、旋回渦は曲がり管の曲率に沿って進み、水平部では垂直方向に旋回することが観察された。

流速による影響も鉛直管の実験結果と同様であった。また、それぞれの領域の長さも鉛直管の時とほぼ同じである。流速と潜り込み深さの関係を Fig.7 に示す。曲がり部の長さは曲がり管中心で測定した。

4. 結論

鉛直管試験部と水平部付き曲がり管試験部の二通りの実験をした結果、いずれの試験部でも現象は定性的には同じであり、潜り込み深さも同様であることが分かった。Region3 においては数十秒周期のバーストが発生することを観察し、これが熱成層界面の温度変動の原因となっている可能性があるかと推定される。今後はループの流体温度を上昇させ壁面温度の測定を行う予定である。また管の軸方向の熱伝導や管外表面の放熱などの影響を調べるために、ステンレス管での温度計測を行う。

また本研究結果から得られたキャビティーフローの構造を踏まえた数値解析手法を検討する。

Fig.4 Sketch of cavity flow (vertical straight pipe)

Fig.5 The relationship between flow velocity and distance of the transition points (vertical straight pipe)

Fig.6 Sketch of cavity flow (bent pipe with a horizontal section)

Fig.7 The relationship between flow velocity and distance of the transition points (bent pipe with a horizontal section)