

II-66

自由水面からの空気巻き込みに関する基礎実験

日本大学生産工学部 正員 ○落 合 実
 " " " 遠 藤 茂 勝
 " " " 三 浦 晃

1. まえがき 変動する自由水面から空気が巻き込まれる現象が発電所等の冷却水系路内において発生した場合、発泡現象により環境上好ましくない状態となる。またこの現象を液体に気体が巻き込まれる現象として捉らえた場合には、高速増殖炉(FBR)内の冷却材流れにおいて想定される現象でもある。FBRの1次冷却材の自由液面からアルゴンガスが巻き込まれると計測系の誤操作、炉内機器各部の伝熱性能の低下や炉心反応度の増加などが引き起こされる恐れがある。このような現象が生じない構造形式を開発するための基礎的なデータを得ることが必要となっている。そこで本研究は、FBRの冷却材流れにおけるガス巻き込みを把握するための基礎研究として、水流体中に空気が巻き込まれる場合の水理学的条件を捉えようとするものである。本文では、矩形断面水槽を対象として水槽幅の影響について実験的に検討するものである。

2. 実験装置および方法 本実験の設備は、図-1に示すとおりである。試験水槽は、長さ $L=0.5m$ の亚克力水槽が設置でき、その試験水槽のみを任意幅の水槽に変換できる構造となっている。実験水は、地下貯留水槽に蓄えられた水道水を用いている。空気が巻き込まれるか否かは、10分間の目視観測で行い、流況は、3次元電磁流速計を用いて測定する。実験条件は、表-1に示すとおりである。本文で用いる記号は次のとおりである。噴流流入口高さ: B_0 、容器外流出口高さ: B_1 、試験水槽長さ: L 、幅: W 、容器末端水深: H 、平均水深: h 、流入平均流速: U_0 。

3. 実験結果および考察 本文では、流入Froude数: Fr 、流入Reynolds数: Re そして流入Weber数: We を次のように定義する。 $Fr_0^2 = U_0^2 / g B_0$ 、 $Re_0 = U_0 B_0 / \nu$ 、 $We_0^2 = \rho U_0^2 B_0 / \sigma$

3. 1 空気巻き込みの形態分類 自由水面から空気が巻き込まれる現象は次のように形態分類される。

Type I: 下流側壁に衝突し、水面を上昇させ、強い逆方向流れが形成され、その流れによって空気を巻き込むように混入する場合。 Type II: Type Iの場合と同様の上昇した水面からの強い循環流れと流入口上側の水面に生じた逆向きの弱い循環流れとが衝突し、潜り込むように空気が混入する場合。 Type III: Type IIと同様の流入口上側の弱い逆向き流れの水面において生じた波立ちが増幅し、砕け、移動し、Type Iのような強い逆方向流れによって空気が混入する場合。 Type IV: 下降する循環流によって水面からうず糸状になって空気が混入する場合。

このように分類された巻き込み形態のうち、Type IとIIの形態は、それらが交互に生じたり、またその判別には、観測者の主観が支配的であることからそれらを同じ形態として扱うこととする。空気の巻き込み現象は、比較的連続して空気が巻き込まれる場合と周期的に発生する場合が認められるが、観測時間内にわずかでも空気が混入する場合を『空気の巻き込み発生』と定義する。図-2～5は、各Caseの巻き込み形態の分類マップである。図は、ある相対水深に対して流入Reynolds数が大きいほど空気の巻き込みが生じることが認められ、相対水深が大きいほど大きい流入Reynolds数において空気の巻き込みが多く発生することを示している。また各Caseとも相対水深: h/L が約0.6以上および約0.2以下の領域でType IV、すなわちうず糸状の巻き込み形態が生じていることが認められる。そしてType IおよびIIの巻き込み形態は、全てのCaseにおいて、 h/L が約0.3～0.7程度の範囲で生

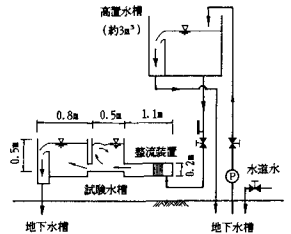


図-1 実験装置概略

表-1 実験条件

Case	I	II	III	IV
W (cm)	1.0	2.0	4.0	6.0
B ₀ (cm)	4	4	4	4
B ₁ (cm)	4	4	4	4
L (cm)	50	50	50	50
H (cm)	10~40	10~40	10~40	10~40

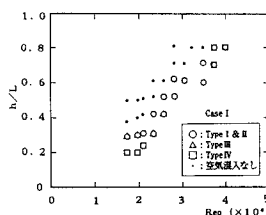


図-2 混入形態分類

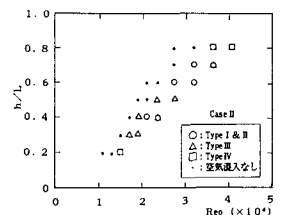


図-3 混入形態分類

じ、TypeⅢは、CaseⅠ、ⅡそしてⅢにおいて h/L が約0.3～0.7程度の範囲で生じていることも認められる。また水路幅が大きいCaseⅣの h/L が約0.3～0.4程度の範囲では、TypeⅢの碎波状態が生じないことが認められ、水路幅の影響が表れているものと考えられる。CaseⅣにおいて、 $h/L=0.6$ における・印では、水槽長さ方向に振動するいわゆるスロッシングが生じ、不規則に波立っていた水面が1つの振幅モードになり、空気の巻き込みが生じないことが認められる。それ以上の流量を流入させると、よりスロッシングの振幅が大きくなるが、ある流量より大きくなるとスロッシングが生じなくなり、空気の巻き込みが発生することも認められている。このようなスロッシングの現象は、水深と流量そして水路幅の影響が相互に関連しあっているものと考えられ、今後の検討課題となる。

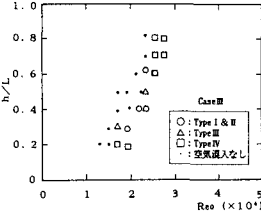


図-4 混入形態分類

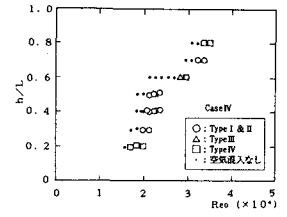


図-5 混入形態分類

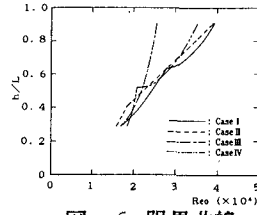


図-6 限界曲線

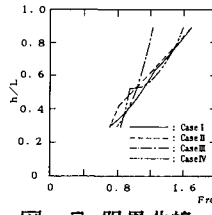


図-7 限界曲線

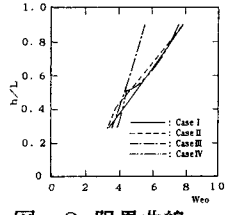


図-8 限界曲線

3. 2 巻き込み限界マップ 図-6、図-7および図-8は、空気の巻き込み限界曲線のみを示すもので、各図における限界曲線より大きい無次元量において空気の巻き込みが生じることを示している。空気巻き込みの限界流入Reynolds数、Froude数およびWeber数は共に相対水深が大きくなるほど大きくなる傾向となっている。 h/L が約0.6以上においてCaseⅠ、ⅡそしてⅣの限界曲線は、ほぼ同程度となっているが比較的水深が小さい場合： $0.3 \leq h/L \leq 0.5$ 程度では、巻き込みの形態が異なることによる各Caseの限界値にばらつきが認められる。

3. 3 速分布特性 図-9～図-11である。図は、水槽の中心断面における流速ベクトルであり、図中の水面は、水槽側面から撮影した変動水面のビデオ画像をパソコンで解析し、3次のスプライン関数で近似したものである。

図-9は、CaseⅠにおける $h/L \approx 0.6$ であり、流入量は空気の巻き込みが発生する限界の場合である。図から噴流として流入した流れは、下流端の壁に衝突して水面を上昇させ、水面では流入方向と逆向きの流れとなり、容器全体として大きな循環流れを形成していることが認められる。これらの流況は、CaseⅡおよびⅢも同様となっているが図-10に示すようにCaseⅣにおいては循環流れは認められない。流入口上部において、流下方向流れが生じるのは水槽中心断面に向う水平方向の流れ、すなわち水槽幅方向の回り込む流れが生じ、水槽幅がおよぼす影響であろうと考えられる。しかし図-11におけるCaseⅣの $h/L \approx 0.8$ ではそのような水槽幅方向の流れを示唆する流況が認められず、他のCaseと同様に1つの循環流れになっている。

4. まとめ 本研究では、空気の巻き込みにおよぼす水槽幅の影響を捉えらるために、4種類の幅の異なる水槽を対象に実験を行い、空気巻き込み形態分類や混入限界マップそして流速ベクトルを示した。今後、水面流速そして水面勾配、特に流速変動や水面変動を把握し、空気巻き込みが生じる時の局所的な流動形態を検討する必要がある。加えて、スロッシングの発生条件及びメカニズムをより詳細に検討する必要がある。

参考文献 1) R. H. S. Winterton: N. E. AND D., 1972 2) 千葉他: 原子力学会昭62, 1987 3) G. E. Hecker: ASCE, J. H. D., HY10, 1981 4) 落合他: 第44, 45, 46回年講

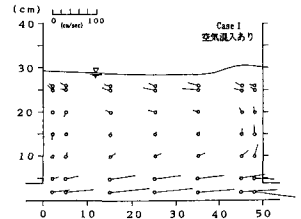


図-9 流速分布特性

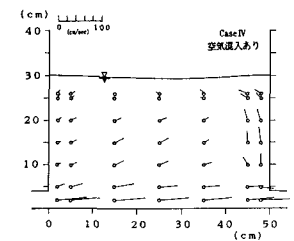


図-10 流速分布特性

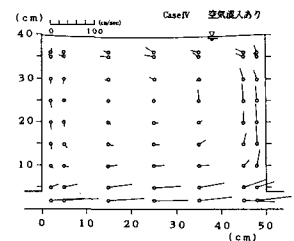


図-11 流速分布特性