

II-171

水面乱れによる空気巻き込みに関する基礎的検討

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 水面から空気が連行される現象は、発電所の冷却水系路における滝落しや跳水あるいは水面乱れなどによって生じ、その連行された気泡が消滅しないで海域に放出されることから環境問題として注目される。そして原子力発電におけるタンク型FBR内の冷却材の自由液面変動によって生じる気体の連行現象も炉心の反応特性や熱伝達特性へ悪影響をおよぼすことから工学的に問題視されている。これらの現象は、共に形状、寸法、液面状態など支配因子が多く、模型実験結果から実機の特性を評価するまでに至らず、その対策に苦慮している。そこで本研究は、自由液面から空気が巻き込まれる現象に着目し、その解明の基礎的な段階として単純化した矩形断面水路を対象として空気が巻き込まれる時の条件について実験的に検討するものである。

2. 実験装置および条件 図-1は、実験装置の概略を示すものである。実験水路は、長さ2.0m、高さ60cm、幅20cmのアクリル製水路であり、水路内に仕切り板を固定し任意長さに変化できる構造となっている。そして水路流入部には、長さ1.0m、高さ40cm、幅50cmのアクリル製整流水槽、また実験水路末端には水位調整用のゲートが取り付けられている。図-2は、本実験に用いる記号と流れ状態を模擬したものである。実験は、表-1にその条件を示すように噴流放出流速： U_0 、試験水槽長さ： L そして自由水面位置： H を変化させて行ない、水面形状と空気の巻き込み現象の観測は、目視で行うこととする。表中の Bo は、噴流出口高さである。噴流放出流速は、プロベラ式流速計によって測定し、空気が連行される時の流速測定は、電磁流速計を用いている。

3. 実験結果および考察 自由水面の乱れによって気泡の混入現象が生じる場合を目視観測した結果、空気の巻き込み現象と自由水面の形状は、次のように分類される。 Type I：下流側壁に衝突し、水面を上昇させその流れによって気泡が沈み込むように混入する。 Type II：上昇した水面からの流れと上流側の水面に生じた循環流によって空気が巻き込まれる。 Type III：下流側壁に衝突し、水面に生じた波が砕波して空気が混入する。 Type IV：潜り込む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。

上述されるような空気の連行現象は、常時発生する場合と周期的に発生する場合が認められたので本文中における空気連行現象は、周期的にわずかも発生した場合を連行発生と定義し、整理している。

空気の連行現象は、水路長さや水深そして噴流放出速度等の条件によって支配されることが考えられることから、次の示すような無次元数とReynolds数： Re そしてFroude数： Fr を定義する。

$$a = H/L, \quad b = Bo/L, \quad Re = U_0 Bo / \nu,$$

$$Fr = U_0 / (gH)^{1/2}$$

ここで、 ν ：水の動粘性係数。

これらの無次元数を用いて空気の連行

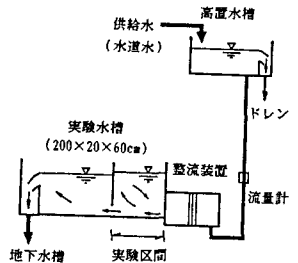


図-1 実験装置概略

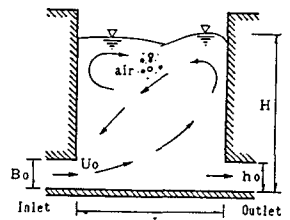


図-2 記号説明

表-1 実験条件

L (cm)	50.0, 75.0, 100.0
Bo (cm)	2.0, 5.0, 8.0
Q (l/min)	100 ~ 1000
H (cm)	5.0 ~ 50.0
h_0 (cm)	5.0

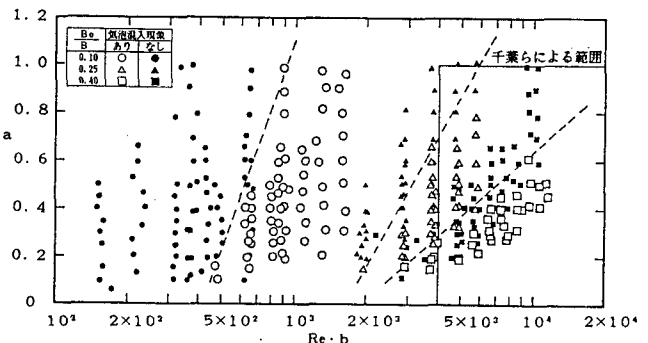


図-3 気泡混入マップ

現象が生じるか否かを示すマップが、図-3である。図において、空気巻き込み現象の発生限界は、 $Re \cdot b$ が大きくなるに伴い a が大きくなり、その増加傾向は、 Bo に影響されるものと考えられる。また、図中の実線は、千葉ら¹⁾が行った実験結果の領域を示しているが、本実験結果との違いは、実験形態（特に放出口アスペクト比と流出口位置）の違いによるものと考えられる。また、図-4は、 Re と Fr で表したものである。図から約 $Re > 20000$ 、 $Fr > 0.4 \sim 0.5$ の範囲で空気の連行が認められるが Bo による影響が支配的である。

図-5(a)および(b)は、空気の巻き込みが生じた時の水槽内の流速分布を示すもので、それぞれType IIおよびType IVの一例である。図において床面に沿って流入した噴流は、その流下に伴い床面との境界層とその上の混合層が発達し、その主流部のほとんどが流出口より排出される様子が認められる。

図-5(a)において噴流は、下流壁に衝突した後、水面を上昇させ流下方向と逆向きの流れとなって水槽のほぼ中央付近で沈み込み、強い循環流を形成する。そしてその循環流によって水槽内を二分する逆方向の循環流が生じ、それらの合流地点付近で空気が巻き込まれることが認められる。また図-5(b)では、水槽内を一巡する一つの循環流が形成され、放出口から約5cm付近で鉛直方向の流れが生じることが認められる。そして気泡は、放出口から約5cm付近でうず糸状となって連行される様子が目視によって認められた。

図-6は、水槽内の流速測定結果より流れの形態をより模式的に分類したものである。Type IとIIは、大きな循環流が2対でき、その合流する水面から気泡が混入し、Type IIIでは、1つの強い循環流が支配し、微弱な逆方向循環流が生じることが認められる。Type IVは、1方向の循環流のみが発生し、流入口上部付近で沈み込む流れが生じ、その流れによってうず糸状の空気連行が発生するものと考えられる。

4. あとがき 本報告では、比較的長さの短い水槽内に噴流を放出した時の自由水面の乱れによって生じる空気の連行現象について、基礎的な実験を行ない、いくつかの無次元数を用いてその発生限界のマップを示し、空気が混入する時の形態分類や流速分布を示した。これらの現象は、閉容器内の形状特性が支配的であることから、今後は、容器の形状、特に噴流放出口高さ等を系統的に変化させた実験を行い、そして空気の巻き込みが生じる場合のより詳細な水理学的形態、特に容器内の流速の乱れ量や水面の波立ちそして気泡量等について検討する必要がある。

参考文献 1) 千葉他：日本原子力学会 昭62秋の大会、1987.10

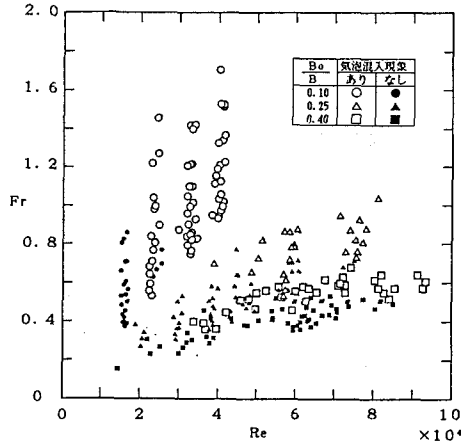


図-4 気泡混入マップ (Fr と Re の関係)

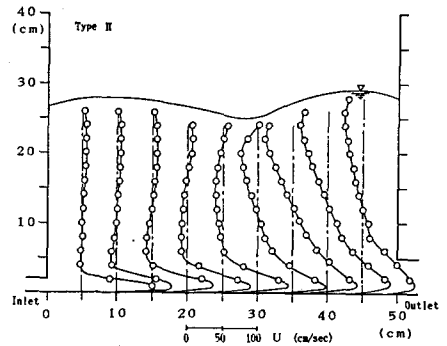


図-5(a) 流速分布 (Type II)

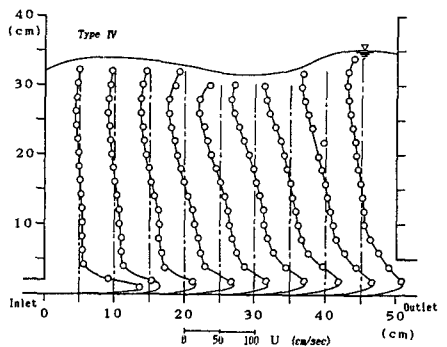


図-5(b) 流速分布 (Type IV)

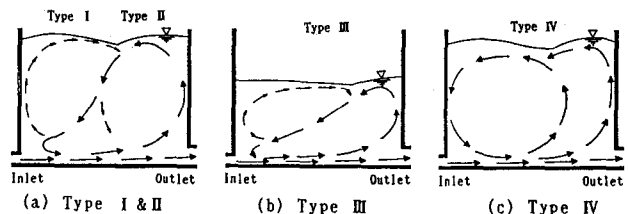


図-6 流況模式図