

II-229

自由水面乱れによる空気巻き込みに関する検討

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 自由水面から空気が連行される現象は、発電所等の冷却水系路内や水処理施設の攪拌槽あるいは液体に気体が巻き込まれる現象としてはタンク型FBR原子炉内の冷却材流れなどにおいて見られる。液体中に気体が混入すると液体の状態によって発泡現象が生じて環境問題視されたり、各種機器の機能低下をおよぼすことから工学的に問題視される。これらの現象は、噴流放出流量と容器形状に影響される水面流速や形状そして変動、加えて液体の物質特性が支配的因子であるがこれらの関連についての研究は少なく、模型実験結果から実機の特性を評価するまでに至っていない現状である。そこで本研究は、空気が自由水面から巻き込まれる現象を解明する基礎的な段階として、矩形断面水槽を用いて水槽スケール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6.0m、高さ100cm、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、幅に変化できる構造となっている。実験条件は、表-1に示す通りである。表中の記号は、噴流放出口高さ:Bo、水槽出口高さ:B1、試験水槽幅:W、水槽長さ:L、自由水面位置:H、放出流量:Qそして放出流速:Uである。

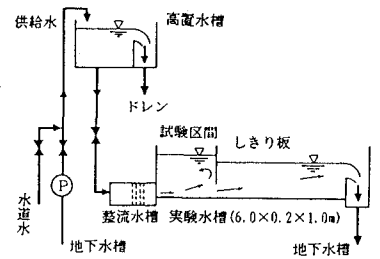


図-1 実験装置概略図

3. 実験結果および考察

(1) 空気混入限界マップ 自由水面の乱れによって空気が巻き込まれるか否かを目視観測した結果、空気混入が約10秒間隔以上の周期で発生する場合とその周期より短い周期で比較的連続して発生する場合が認められたが、本文では周期的にわずかにでも空気混入が生じた前者の場合を『空気混入発生』と定義し、混入限界を評価する。図-2は、Case I~IIIの空気混入限界曲線のみをReynolds数: $Re = UBo/\nu$ と相対水深: H/L で表したものである。限界曲線より右側の領域で空気の巻き込みが生じ、水深一定ではReynolds数が大きくなるほど混入が多く生じることが認められる。Case I、IIおよびIIIは、水槽形状が相似でその縮尺比がそれぞれ1、2および4であることから、容器形状が相似であっても大きい寸法の方が大きいReynolds数で空気巻き込みが生じ、Reynolds数に関して縮尺効果が現われていることを示している。また限界曲線の傾きは、各Caseともほぼ同様の傾向である。図-3は、水槽幅の影響を示すもので、Case I、IVおよびVは、それぞれ水路幅の縮尺比が1、2および4の場合である。図における限界曲線は、Case IVとVでほぼ同程度となっており、Case Iのみが若干、 H/L の大きい付近で傾きが小さくなっていることが認められる。すなわち容器幅が5cmと小さい場合に容器の側面の影響を受け、流体の自由度が少なくなり大きいReynolds数でないと空気の巻き込みが生じないことを示している。図-4は、水槽長さ

表-1 実験条件

Case	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Bo(cm)	2	4	8	2	2	4	4	4	4
B1(cm)	2	4	8	2	2	4	4	4	4
W (cm)	5	10	20	10	20	20	20	20	20
L (cm)	25	50	100	25	25	25	33	50	100
H/L	0.1	0.1	0.8	0.1	0.8	0.1	0.8	0.1	0.8
Q (l/m)									30 ~ 1400

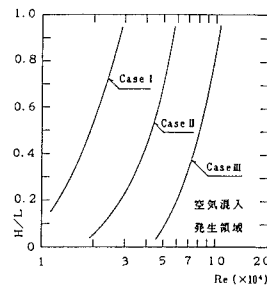


図-2 混入限界

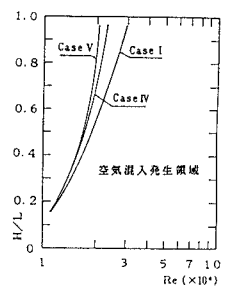


図-3 混入限界

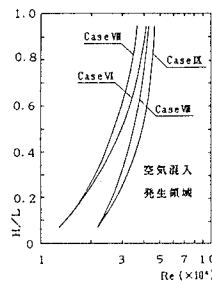


図-4 混入限界

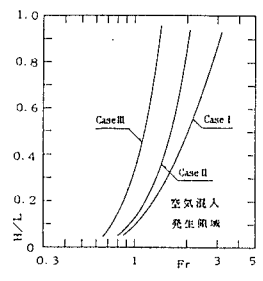


図-5 混入限界

を変化させた場合であり、Case VI～IXを示している。比較的短いCase VIを除いて他のCaseでは一定水深において水槽が長くなるほど混入限界Reynolds数が大きくなることが示されている。図-5は、図-2と同じCaseをFroude数: $Fr=U/(gBo)^{1/2}$ と相対水深で表した混入限界マップである。図から放出Froude数が大きいほど混入限界水深が大きくなり、水槽形状比が大きいほど混入限界Froude数が小さくなることが示され、Froude数に関しても縮尺の影響が現われていることが認められる。

(2)空気混入形態分類 自由水面から空気が巻き込まれる現象を目視観測するとその混入形態は、つぎ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、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。

Type II : Type I の場合とほぼ同様の流れが潜り込むことによって空気が連行する。 Type III : 放出口上側の弱い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 と同じ様な逆方向流れによって空気が混入する。 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。以上のように分類された混入形態の模擬図が図-6である。

図-7は、Case II の混入形態分類をプロットし、混入形態Type I と II が生じる限界線を各Caseごとに示している。図から形状寸法比が大きいほどType I および II の形態の発生限界Froude数は小さくなり発生限界水深も小さくなることが認められる。また、ほぼ $H/L < 0.2$ の比較的水深の小さい領域におけるType IV の発生は、流入口の上部近くで流入水によって連行されるうず糸であり、約 $H/L > 0.6$ の場合と現象が異なることが観測される。図-8は、Case I の混入形態分類をプロットし、混入形態Type III が生じる限界線を前図と同様に示している。図から形状寸法比が大きいほどType III の形態の発生限界Froude数は小さくなり、発生限界水深も若干小さくなるがほぼ $H/L > 0.6$ であることが認められる。

図-9も前図と同様にCase III のプロットと混入形態Type IV の発生限界を示している。水槽形状比が大きいほどType IV の発生限界Froude数と水深が小さくなっている。

図-10は、Case IV のプロットとType I および II の混入形態の発生限界を示したものであり、Case I と V の限界線も同時に示している。空気混入の発生限界線の傾きや限界水深がほぼ同程度あり、幅による影響が現れていないことから、Type I および II の混入形態がほぼ2次元の現象であることを示している。以上のことからCase I の場合は容器幅の影響が大きいことから特異Caseとなり、他のCaseから空気が巻き込まれる形態は、比較的大きい水深でType III および IV、それ以下の水深でType I および II が発生することが認められる。

4. あとがき 空気が巻き込まれるか否か限界マップと混入形態分類マップを示したが、これらの現象は、容器寸法比にかなり影響されることが明かとなった。今後、水面の形状、変動量そして流速等を測定し、これらの諸量のスケール効果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

2) 落合他 ; 第43回土木学会年次講演会概要集 II 部, 1989. 10

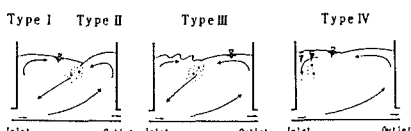


図-6 混入形態分類模擬図

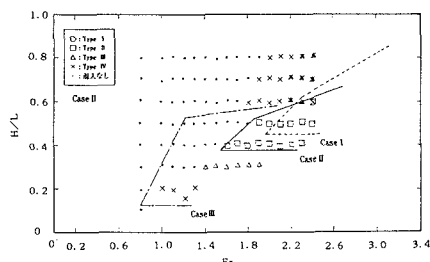


図-7 混入形態分類

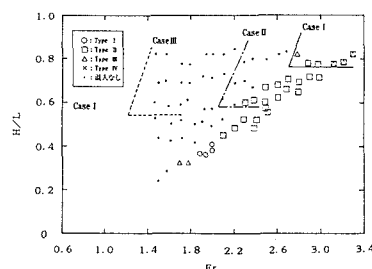


図-8 混入形態分類

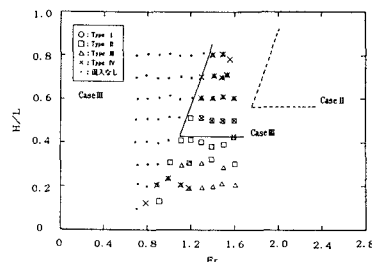


図-9 混入形態分類

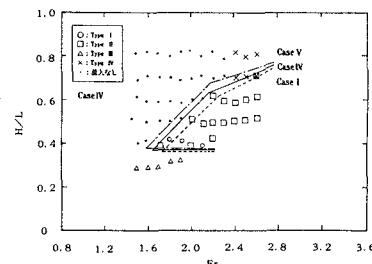


図-10 混入形態分類