

II-317

水面からの空気巻き込みに関する模型縮尺の影響について

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 発電所等の冷却水取水口や放出系水路内において、流体中に空気が混入する場合、発泡現象が生じて環境的に好ましくない状態となる。また液体に気体が巻き込まれる現象として捉えた場合には、タンク型FBR原子炉内の冷却材流れなどにおいても想定され、その場合、周辺構造物や各種制御監視機器等の機能低下をおよぼすことから工学的に問題視される。この空気混入現象の一部分として、ポンプ等の取水槽における吸込み渦の現象については古くから検討されているが、実験に頼る取り扱いが多い。ここで対象とするような水面動揺を伴った現象は、噴流放出流量と容器形状に影響される水面変動・形状そして流速、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 実験水路は、長さ6.0m、高さ100cm、幅20cmの亚克力製水路であり、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。図-1は実験体系と記号説明図であり、噴流出口高さ: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。実験条件は、表-1に示す通りである。本文で扱う無次元量を次のように定義する。放出Reynolds数: $Re=UBo/\nu$ 、放出Froude数: $Fr=U/(gBo)^{1/2}$ 、放出Weber数: $We=U(\rho Bo/\sigma)^{1/2}$ 、ここで ν :流体の動粘度、 ρ :流体の密度、 σ :流体の表面張力である。

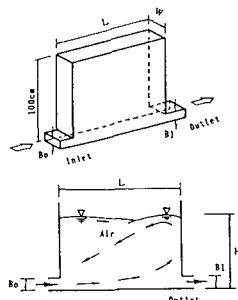


図-1 実験体系

3. 実験結果および考察

(1) 空気混入限界マップ 自由水面の乱れ現象を目視観測し、空気がわずかにでも水中に巻き込まれた場合を『空気混入発生』と定義する。また、巻き込み現象については水面勾配が大きくなって巻き込まれる場合や水面での砕波あるいは旋回渦による場合などに分類されるが、ここでは空気が巻き込まれるか否かの発生限界のみを対象としている。

図-2は、各Caseの空気混入限界曲線のみを放出Reynolds数と相対水深:H/Lで表したものである。実線で示した各ケースの限界曲線より右側の領域でそれぞれ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目視で認められている。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。図-3および図-4は、それぞれ放出Froude数および放出Weber数と相対水深との関係を示すもので、それぞれの図とも限界曲線が各ケースで異なることからスケール効果があることを示している。

(2) 混入限界のスケール効果 一般にFroude数を一致させた場合のReynolds数のスケール則は、次式となる。

$$\frac{Re_p}{Re_m} = \frac{U_p \cdot l_p}{\nu_p} \cdot \frac{U_m \cdot l_m}{\nu_m} = \frac{U_p}{U_m} \cdot \frac{l_p}{l_m} = \left[\frac{l_p}{l_m} \right]^{1.5} = S^{1.5} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 l :長さの代表スケール、添え字 p および m はそれぞれ実機および模型の緒元であり、実機と模型の縮尺率: $S=l_p/l_m$ である。また、 $U_p=U_m$ として流速を一致させた場合には、次式となる。

$$Re_p/Re_m = l_p/l_m = S^1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

そこで図-2の破線(a)は、 $n=1.5$ および $n=1.0$ としてCase IIからCase IIIを推定した値である。またポンプ吸込み槽における空気吸込み渦の相似則を $U_p/U_m=S^{0.2}$ としていることからその関係を破線(b)で示している。

表-1 実験条件

Case No.	I	II	III
Bo (cm)	2	4	8
B1 (cm)	2	4	8
L (cm)	25	50	100
W (cm)	5	10	20
H (cm)	5~20	10~40	20~80
Q (l/min)	30~100	110~370	580~1400
S	1	2	4

図から本実験のような空気を巻き込んだ混相流においては相対水深と縮尺率が影響し、(1)や(2)式のように n が一定値とならない。そこで、実機と模型のReynolds数を表わすスケール則を次式で表現することとする。

$$\frac{Re_p}{Re_m} = \left[\frac{l_p}{l_m} \right]^n = S^n \quad \dots\dots\dots (3)$$

いま、2つの縮尺模型と実機との関係を考えて、次式となる。

$$Re_p = Re_{m1} \cdot S_1^n, Re_p = Re_{m2} \cdot S_2^n \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 Re_{m1} および Re_{m2} は、各模型におけるReynolds数であり、 S_1 および S_2 は、それぞれの模型縮尺率である。そこで(4)式を用いて、2つの縮尺模型(Re_{m1} 、 Re_{m2})から換算した実機換算値(Re_p)が一致する時の n を求めることにより、模型実験値から実物値を推定する換算式を導くこととする。Froude数やWeber数に関しても同様に扱える。

Case IとIIを(4)式に代入してCase IIIを推算するScale upとCase IIとIIIからCase Iを推算するScale downの2通りで換算した結果が、図-2～3の破線(c)である。

Scale upおよびScale downの換算値は、実測値よりも平均的に若干大きい値となり、発生限界としては、危険側の値を推測することになる。そしてScale downよりScale upで換算した場合の方が換算値と実験値との差が大きくなっている。また、相対水深が大きいほど実験値に近づき、逆に低い水深ではその差がかなり大きくなっている。しかし、比較的大きい水深の領域でのみを考えれば、ここで扱った縮尺率の n 乗則は、実機の限界曲線より若干大きい値を推定するが相似関係則として評価することができる。

一方、模型諸量と縮尺率の関係を1次または2次関数として考え、相対水深をパラメータ換算した結果が破線(d)である。

これらの近似式を用いて換算した結果が破線(b)である。各図における実験結果と換算値は、近似式の縮尺率および相対水深の次数を規定しているため若干の差が生じているが、比較的良好な近似を示している。

4. まとめ 空気巻き込み発生限界のスケール効果について2つの縮尺換算式を導き適用した。それらの換算式は本実験の条件範囲内においてほぼ一致し妥当性が認められる。しかし模型寸法が大きくなる程混入発生限界流速が小さくなり、また目視観測でも巻き込み空気径や渦径等の形態が形状寸法によって異なることから、本水槽より数倍程度の大型縮尺模型の幾つかを対象に実験を行うことが必要である。そしてそれらの巻き込み発生限界曲線から本文のような方法で推算式を導くことにより、より実機に近い値を推定することができるものと考えられる。

参考文献 1) R.H.S. Winterton: NUC. ENG. AND DESIGN 1972 2) 千葉ほか: 原子力学会昭62秋の大会 1987 3) G.E. Hecker: ASCE, HY10 1981 4) A.K. Jainほか: ASCE, HY10 1978 5) E. Chang: bhra, RR1519 1979 6) 落合ほか: 第44、45回年講 1989 7) ポンプの吸込水槽の模型試験法、JSME S 004 -1984

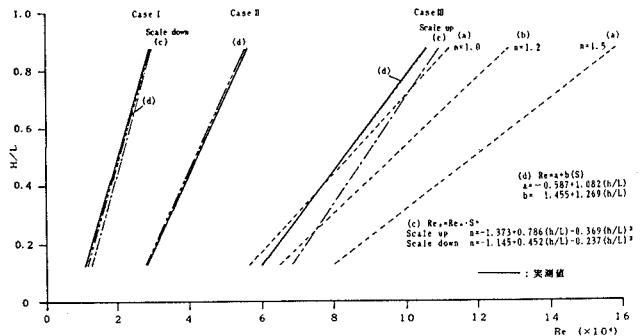


図-2 空気巻き込み限界曲線

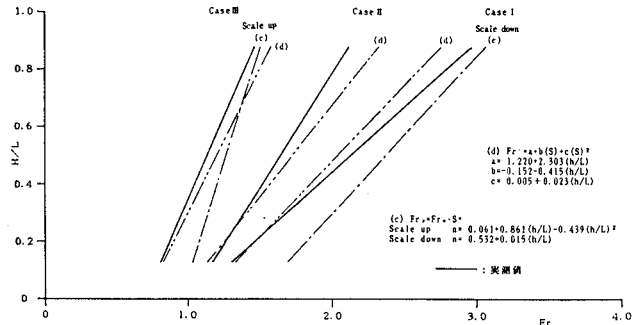


図-3 空気巻き込み限界曲線

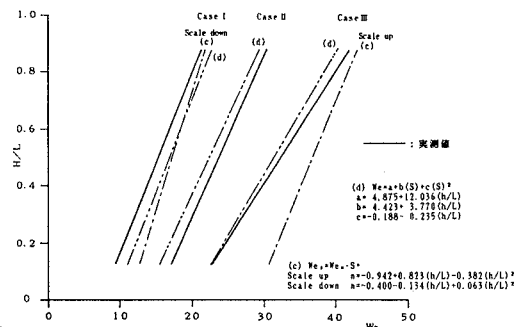


図-4 空気巻き込み限界曲線