

II-184

自由水面からの空気巻き込みに関する検討

—スロッシング時の水面変動特性—

日本大学生産工学部 正会員 落合 実、遠藤茂勝
後藤工業（株） 江崎陽友

日本大学生産工学部 和田 明

1. まえがき 本研究は、噴流が比較的小さい水槽内に流入した場合に生じる水面動揺や水槽内の局所的な循環流れによって水面から空気が巻き込まれる現象を対象として、その巻き込みが生じる場合の水理学的条件を捉えようとするものである。このような現象は、気力発電所の復水器冷却水路系や取水槽において認められるが液体に気体が巻き込まれる現象として捉えた場合、現在開発中の高速増殖炉（FBR）内や中間熱交換器（IHX）において想定され、本研究の対象である。この現象は、構造物や環境に好ましくない影響を与えることから、巻き込みが生じない流れと構造形式を見い出す必要がある。本文では、その基礎的な段階として矩形断面水槽において水槽幅の影響が著しい条件を対象にスロッシング時の水面変動特性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。実験水は地下貯留水槽の水道水を用いる。試験水槽は、長さ $L=0.5\text{m}$ の亚克力製水槽であり、その形状概略と本文で用いる記号を図-2に示す。実験は、既に行った結果¹⁾で水槽幅の影響が確認された $W=0.6\text{m}$, $L=0.5\text{m}$ の条件を対象とする。空気が巻き込まれるか否かおよび混入形態そしてスロッシング状況は10分間の目視観測で行う。水面変動は容量式波高計で測定する。ここで流入流速: U , 流入流量: Q , 水深: h , $B_1=B_0=4\text{cm}$ である。

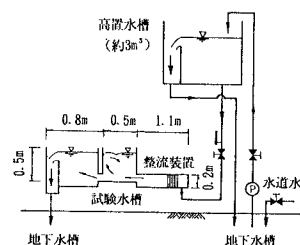


図-1 実験装置概略

3. 実験結果および考察 3.1 スロッシング発生限界マップ

図-3は空気巻き込み回数と水深そして流入流量の関係を示す。図から水深が小さいほどまたある水深に対しては流入流量が多いほど空気巻き込み回数が増えることを示している。図-4は空気の巻き込みおよびスロッシングが発生するか否かを示す限界マップである。図はある相対水深: h/L において、流入Froude数: $Fr=U_0/(g \cdot B_1)^{1/2}$ が大きく、また水深が小さい程空気巻き込みが生じることを示している。そして約 $0.35 < h/L < 0.55$, $Fr \approx 0.75 \sim 1.0$ の範囲で特にスロッシングが生じることが認められている。また水深が小さく Fr も比較的小さい領域でも生じることが示され、水深とFroude数そして流量の関係がスロッシングの発生の一要因であることが示唆される。また水深が比較的大きく巻き込みが生じる範囲がより危険な条件と考えられるので、水面変動はこの範囲を対象とする。

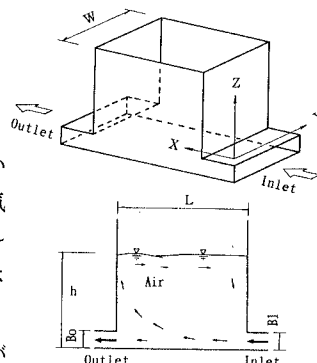


図-2 記号説明図

3.2 水面変動特性

水面変動を平均水位を基準にzero-up cross法で波高値として算出して、その波高を不規則波浪の連続と仮定した時の波高の出現頻度をRayleigh分布と比較したものが図-5および図-6である。図はそれぞれ水面変動の測定有義波

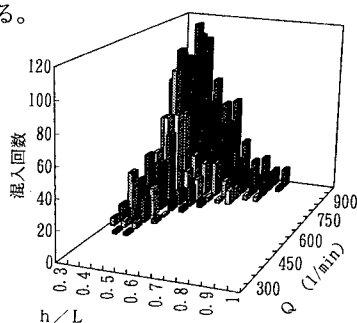


図-3 空気巻き込み回数

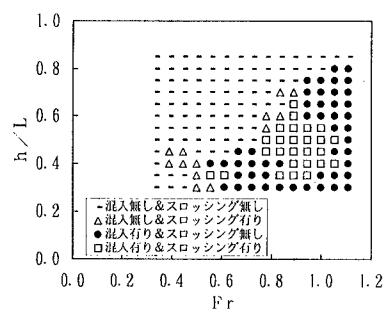


図-4 スロッシング発生マップ

高： $H_{1/3}=1.60\bar{H}$ および1/10最大波高： $H_{1/10}=1.27H_{1/3}$ で表されるRayleigh分布の関係を表したものである。図から容器内の水面変動において生じる波高の頻度がRayleigh分布で表されることが確認される。そこで水面変動の指標値として $H_{1/10}$ を用いることし、空気が巻き込まれる場合と巻き込みが生じない場合のX-Y平面分布を示したものが図-7～8である。図-7は空気の巻き込みとスロッシングが共に生じない場合であり、図-8は巻き込みが多く、スロッシングが大きい場合である。これらから巻き込みとスロッシングが発生する場合には、それが発生しない場合よりも水面で生じる波高が平均的に数倍大きく、特に巻き込みが目視で認められた流入口上部付近でかなり大きな値となっていることが認められ、水面変動の増加と巻き込み量の相関が考えられる。

図-9～12は、水面変動スペクトルを示したものである。図-9は、図-7と同じ条件における流入口近傍の地点であり、図-10、11および12は図-8と同じ条件におけるそれぞれ流入口近傍、水槽中心付近および流出口近傍を示している。また図は3Hz以上の範囲でのスペクトルが認められなかったためそれ以下の範囲を示している。これらの図からスロッシングや巻き込みが生じない場合には特に卓越した分布形状が認められない。しかしスロッシングと空気巻き込みが顕著に生じる場合には水槽の流入口および流出口近傍で卓越したスペクトルが約1.2Hz程度で現れている。この卓越スペクトルは水槽中心付近で認められないことからスロッシングによるものと考えられる。

一方、一般的な自由表面の力学的な釣合からのスロッシング周期： T は次式で表されている。

$$T = 2\pi / \sqrt{g \cdot k \cdot \tanh(kh)}$$

ここで、 $k = \pi \cdot n/L$ 。この式から得られるスロッシング周期は0.836secとなり、図に示される卓越スペクトルの周波数とも一致する。

4. あとがき 水槽幅の影響が著しい条件、特にスロッシングの発生する場合の水面変動の測定結果を示したが、今後は、水面流速や水面勾配そして下降流速をより詳細に検討し、空気の巻き込み現象の水理学的特性を把握する予定である。

参考文献 1)落合他：第44, 45, 46, 47, 48, 49回土木学会年講 2)R. H. S. Winterton: N. E. AND D., 1972 3)G. E. Hecker: ASCE, J. H. D., HY10, 1981 4)江口：電中研報告U91005, 1991 6)JSME S 004: 日本機械学会, 1984

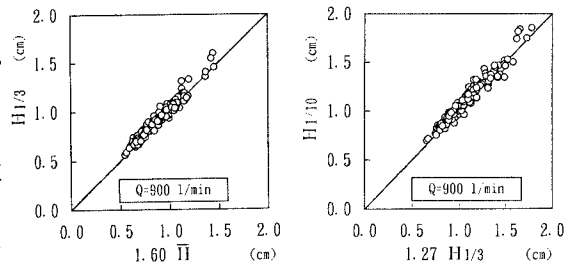


図-5 $H_{1/3}$ と H の関係

図-6 $H_{1/10}$ と $H_{1/3}$ の関係

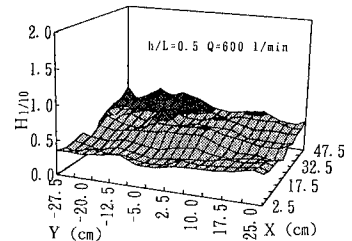


図-7 水面変動特性

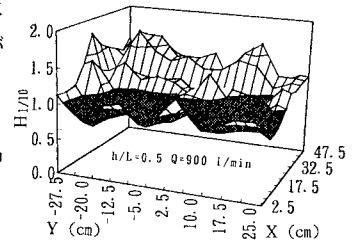


図-8 水面変動特性

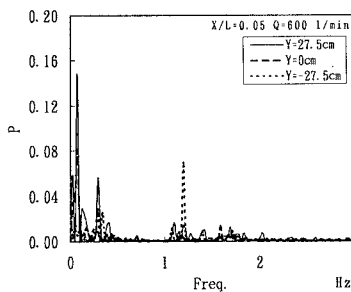


図-9 水面変動特性

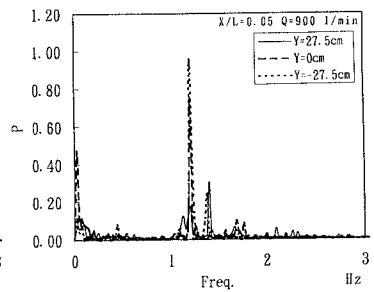


図-10 水面変動特性

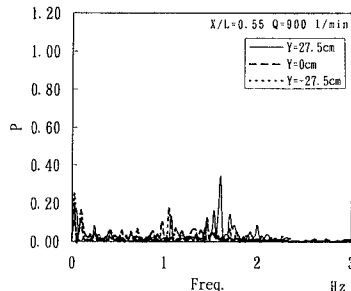


図-11 水面変動特性

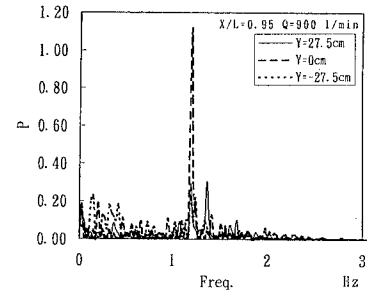


図-12 水面変動特性