

II-325

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と流速特性—

日本大学生産工学部 正会員 落合 実, 遠藤茂勝

プロファ設計(株) 江口一成

日本大学生産工学部 和田 明

1. まえがき 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や流速変動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、本研究ではその巻き込みが生じる場合の水理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）において想定される。このような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と流速分布特性を実験的に検討する。

2. 実験装置および方法 実験は水道水を用い、ヘッドタンク方式で安定した試験水を供給するシステムである。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-1に示す。実験は既に行ったスロッシング発生限界の結果¹⁾からより危険と考えられる比較的水深が大きい場合を対象とし、表-1に示す条件とする。空気が巻き込まれるか否かおよび混入形態と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。また流速は変動水面より平均約3~5cm下方にストロボスリット光を照射し、x-y断面を対象にPTVシステムを用いて計測する。

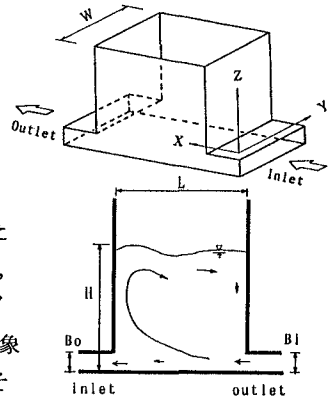


図-1 試験水槽概略図

表-1 実験条件

空気巻き込み	なし	あり(少)	あり(多)	あり(多)
スロッシング	なし	あり	あり	なし
流入流量 Q (l/min)	600	800	900,1000	1100
流入フルード数 Fr	0.87	0.89	1.0,1.10	1.22
水槽幅 $w=80\text{cm}$ 水槽長さ $L=50\text{cm}$ $B0=B1=4\text{cm}$ 平均流入流速 $U = Q/(g \cdot B0^2)^{1/2}$				

3. 実験結果および考察 3.1 水面変動特性 図-2は空気巻き込みおよびスロッシングが生じない場合の水面変動スペクトルを示したものである。図は水槽中央および側壁近傍における流下方向のスペクトル分布であり、約5Hz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。図においてスペクトルは比較的小さく、水面変動に卓越周期が認められない。

図-3は空気巻き込みおよびスロッシングが共に生じる場合の水面変動スペクトルを示したものである。図は図-2と同様に水槽中央および側壁近傍における流下方向のスペクトル分布であり、約5Hz以下の範囲を示している。図-3において流入口および流出口付近で卓越したスペクトルが認められ、その卓越周波数は約1.2Hz程度であり、図-2との比較からこの卓越周波数が規則的な水面変動、すなわちスロッシング周期と考えられる。一方、一般的な自由表面の力学的な釣合から算

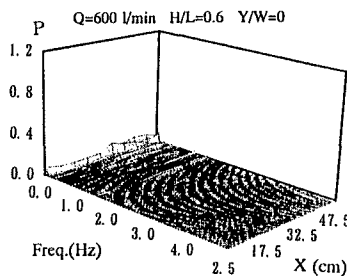


図-2(a) 水面変動特性

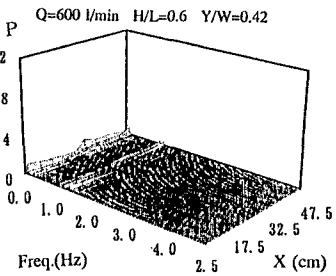


図-2(b) 水面変動特性

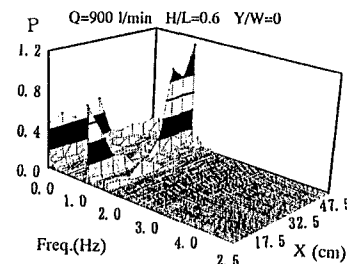


図-3(a) 水面変動特性

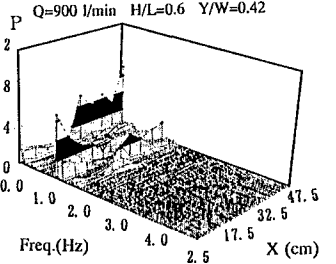


図-3(b) 水面変動特性

定される矩形容器内の1次のスロッグ周期は約0.863secであり、図に示される卓越パクトルの周波数とほぼ一致する。

3. 2 水面流況特性 図-4は空気巻き込みおよびスロッグが若干生じる場合の水面流速分布の一例を示したものである。図は流速分布を時系列的に示しており、図-4(d)は約1sec間の平均流速を示している。水槽の出口付近の水面では水槽末端を上昇して水面を上昇させる流れによって水槽入り口方向に向かう流れとなっている。そして水槽中央部から水槽側壁に向かう流れと中央に向かう流れが認められ、入り口付近の水面では壁面に衝突する流れが生じている。入り口および出口付近の水面平均流速はそれぞれ約2および16cm/sec程度である。図-5は空気巻き込みおよびスロッグが大きく生じる場合の水面流速分布の一例を示したものである。出口付近の水面は巻き込みとスロッグが若干生じる図-4とほぼ同様の流れ形態を示しているが水槽中央部から水槽側壁や入り口方向に大きな流速が生じている。この流れは目視観測の結果から中央付近で水面を上昇させる流れが大きいことによるものと認められる。また入り口付近の水面は水槽幅方向の流れが卓越し、水槽出口方向からの流れと干渉する様子が認められる。そして図-5(d)は約1sec間の平均流速を示している。図-5(d)および図-4(d)の図と目視観測の結果から入り口付近での壁面に沿う流れと側壁に衝突した流れや出口方向からの流れと干渉し、水面で渦が形成され、その渦が下降流の卓越した地点で加速することにより空気が巻き込まれるものと考えられる。そしてスロッグは水槽出口上方の壁面に衝突した流れによって水面を上昇するが、そのときの上昇高さの変動が水面全体の圧力均衡を乱し、水面全体を動揺させるものと考えられる。図-6は平均流速から算定した渦度： $\eta = \partial u / \partial y - \partial w / \partial x$ 分布を示す。

図は巻き込みおよびスロッグが共に大きく生じる場合（ $Q=1000$ l/min）とそれらが若干生じる場合（ $Q=800$ l/min）を示しおり、それらが共に生じる場合の方が平均的に変動量が大きくなっているが変動傾向はほぼ同様であることが認められる。またY軸に対してほぼ対象となる分布で入り口と出口付近で若干大きな値を示し、空気巻き込みが生じる入り口付近と一致していることが認められる。

4. あとがき スロッグの発生する場合の水面変動と水面流速の測定結果を示したが、今後は水面勾配や下降流速など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, 51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 5) JSMES 004: 日本機械学会, 1984

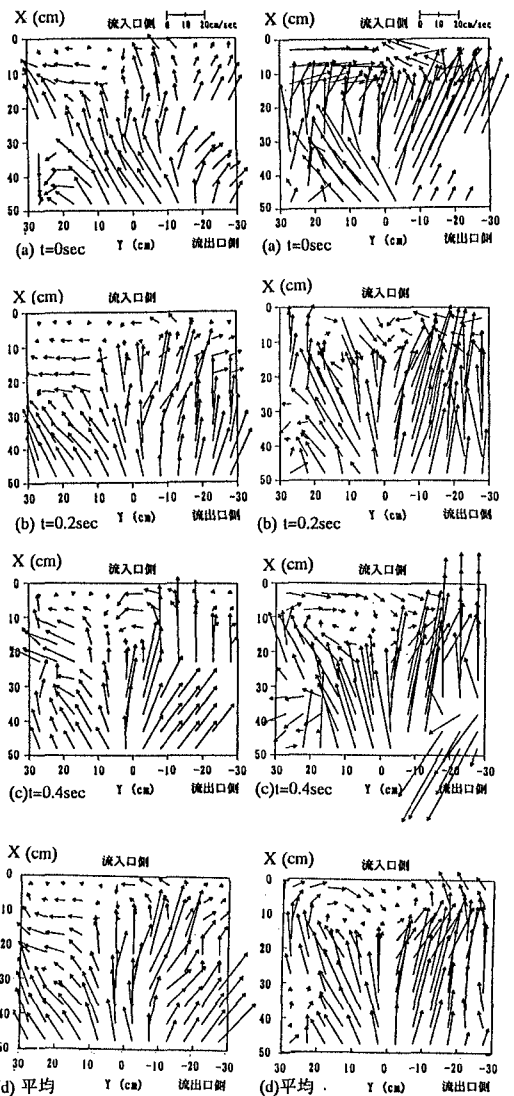


図-4 水面流速 ($Q=800$ l/min)

図-5 水面流速 ($Q=1000$ l/min)

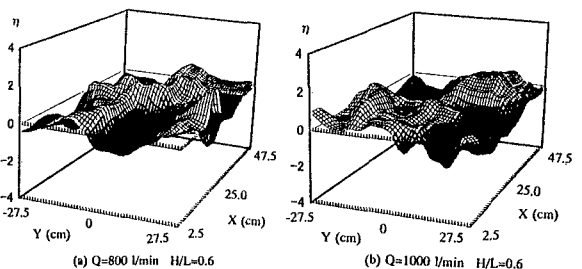


図-6 渦度分布