

II-186

矩形容器内における空気巻き込みに関する実験的検討

- スロッシング時の流速変動特性 -

日本大学大学院 学生員 ○遠藤匡彦
日本大学生産工学部 正会員 落合 実, 遠藤茂勝

1. まえがき 容器内に噴流が流入する時, 空気が水面から巻き込まれたり, スロッシングの発生といった現象が起こる. 本研究はそれらの発生要因を捉えようとする一連の研究である. 空気巻き込みは噴流が水面を動揺させ, 流速変動や局所的な下降流の発生によって起こると考えられてきた¹⁾. スロッシングは水面が流下方向に一次のモードで振動する現象であり, その発生要因についてはまだ十分検討されていないのが現状である. そこで本文では空気巻き込みとスロッシングの発生時における流速に着目し, その時の流況と流速スペクトルから流速変動特性について報告するものである.

2. 実験装置および方法 実験はヘッドタンク方式を用いて実験水(水道水)を供給する. 実験水槽は図-1に示す寸法をもつアクリル製水槽である. 実験水槽の形状概略と本文で用いる記号および座標系を図-1に示す. 本実験では予め行ったスロッシング発生限界の結果から, 比較的水深が大きい危険側を対象として表-1に示す条件で実験を行う. 流速測定は水槽内にトレーサ粒子を散布し, 水槽壁面からストロボスリット光を照射し, その画像中の粒子運動をPTVにより解析, 計測を行うものとする. 本文では, XおよびZ方向の流速をuおよびwとする.

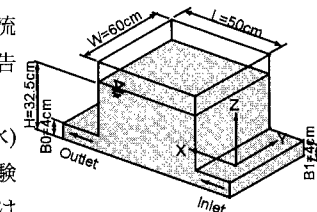


図-1 実験水槽概略

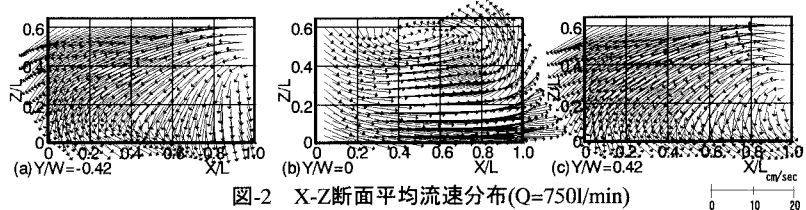
表-1 実験条件

流入流量(Q/l/min)	750	900	1050
巻き込み	あり(少)	あり(多)	あり(多)
スロッシング	あり	あり	なし
流入Froude数 Fr	0.83	1.00	1.16
水槽幅 W=60cm L=50cm B1=B0=4cm			
水深 H=32.5cm			
平均流入流速U Fr=U/(gB0) ^{1/2}			

3. 実験結果および考察

3.1 X-Z断面流況

図-2はスロッシングが生じる $Q=750\text{l/min}$ におけるX-Z断面の平均流速分布を示したものである.

図-2 X-Z断面平均流速分布($Q=750\text{l/min}$)

水槽中央付近(b)では, 水槽に流入してきた噴流が流出口側の壁に衝突し, 水面に上昇した後に流入口から流出口へ向かう戻り流れとなり, 流入口側の壁面に衝突して下降する循環する流れが認められる. 側壁付近(a)および(c)では水槽中央断面とは異なり水槽流出口から流入口へと向かうような流れとなっている. そして水槽中央と側壁に近い断面との分布が異なることからY方向流れの存在が考えられる.

3.2 X-Z断面流速スペクトル解析 図-3は水面付近($Z/L=0.6$)における流速成分wの周波数スペクトル分布を示す. 図は側壁に近い $Y/W=-0.42$ の断面において流入口, 中央付近および出口付近の代表点の流速スペクトルをそれぞれ(a),(b)および(c)とする. 流入口(a)および流出口(c)付近において卓越したスペクトルが 1.2Hz 程度で現れていることが認められる. 低周波域においても比較的大きなスペクトルがある. 水槽中央付近(b)では流入口および流出口付近よりもスペクトルが平均的に小さく, 流速変動が小さいことを示している.

図-4はほぼ半水深($Z/L=0.32$)の地点における流速成分wの周波数スペクトルを示す. 流入口付近(a)では低周波域において他の周期より比較的大きなスペクトルが認められる. 水槽中央付近(b)においては流入口付近と同様に低周波域にスペクトルが集中しているが比較的小きな値となっている. 流出口付近(c)においては,

キーワード 噴流 空気巻き込み スロッシング PTV

連絡先 千葉県習志野市泉町1丁目2番1号 tel. 047(474)2452 fax. 047(474)2449

流入口と同様な分布となっ

ているが、平均的にスペクトル値は流入口の約3倍程度である。これは流出口端壁に衝突した上向き流れにより流速変動が大きいことを示している。

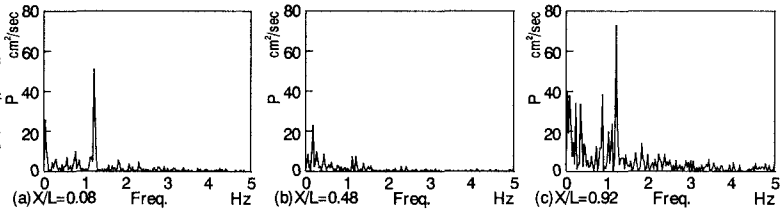


図-3 流速スペクトル: w ($Q=750\text{l/min}$, $Y/W=-0.42$, $Z/L=0.60$)

図-5 は図-3 と同じ地点における流速成分 u についての周波数スペクトルを示したものである。流入口付近(a)において低周波域で大きなスペクトルが生じており、さらに 2Hz 付近までスペクトルがあることが認められる。

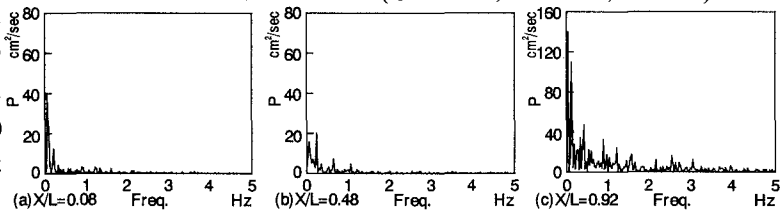


図-4 流速スペクトル: w ($Q=750\text{l/min}$, $Y/W=-0.42$, $Z/L=0.32$)

水槽中央付近(b)では流入口付近とほぼ同様な分布であるが、数ヶ所の周波数において大きな値が現れている。流出口付近(c)においては流入口・水槽中央付近の分布とは異なり、広い周波数域で大きなスペクトルを示している。これは、流出口端壁での上向き流れが水面において流入口へ向かう戻り流れとなるため、この付近の流速変動が大きくなると考えられる。

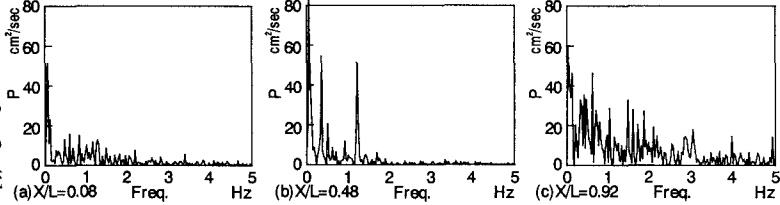


図-5 流速スペクトル: u ($Q=750\text{l/min}$, $Y/W=-0.42$, $Z/L=0.60$)

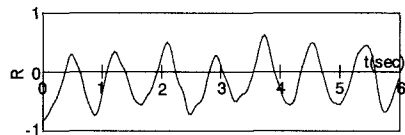


図-6 流速成分相互相関係数: w ($X/L=0.08, 0.92$, $Y/W=-0.42$, $Z/L=0.60$)

図-6 は図-3(a)と(c)に対応する水面付近における流速成分 w の流入

口と流出口付近に関して相互相関係数を示したものである。この図から流入口と流出口付近の流速成分 w はよい相関を示し、その周期はほぼ 0.8 秒となっている。これは水面変動特性から導かれたスロッシング周期¹⁾とほぼ一致している。また、深さ H 、幅 L における 2 次元矩形容器のスロッシング周期の一般式 $T=2\pi/[gk \tanh(kH)]^{1/2}$ (ただし、 $k=\pi n/L$, $n=1,2,3,\dots$) から実験水槽での周期は $T=0.836(\text{sec})$ となり、ほぼ一致することが認められる。

これらより、側壁に近く、水面付近の流速成分 w において、流入口と流出口付近での 1.2Hz 程度の卓越したスペクトルは水面動揺により生じたと思われる。また、半水深付近の場合においては 0.5Hz 以下の周波数でスペクトルが比較的大きく、スロッシング周期に合致する流速変動の程度が小さい。ゆえに、スロッシングは水槽出入口付近の水面において流速の周期の位相が合った時、高次モードから 1 次モードの水面波形になり発生するものと考えられる。

4. あとがき

今回はスロッシングが発生する場合の X - Z 断面における流況とその流速のスペクトル解析結果の一部を報告した。今後は、流速と水位そして圧力などの周期性とそれらの相関を見出し、スロッシングと空気巻き込み現象の関連性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 落合 実, 遠藤茂勝, 和田 明, 土木学会第 44,45,46,47,48,49,51,52 回土木学会年講概要集
- 2) 遠藤匡彦, 落合 実, 遠藤茂勝, 土木学会第 53 回土木学会年講概要集