

矩形水槽内におけるスロッシング挙動に関する実験的検討

日本大学生産工学研究科 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 自由水面を有する水槽内流体に噴流が流入する時、空気が水面から巻き込まれたり、自励的にスロッシング現象が発生したりする場合があることが知られている。これまでスロッシングは流入口付近において縦渦の発生と消滅を繰り返すことで生じたり、流速変動が水面動揺を励起していると考えられている。そこで本研究では水槽内の流況を実験によって得られたデータより水面変動量および流速をスペクトル解析して、その変動特性とスロッシングの挙動およびその発生要因について検討を行ったものを報告する。

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。実験水槽はアクリル製水槽で、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 Fig.-1 に示す。実験条件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比較的危险なケースを選定した。水槽寸法および実験条件については Table-1 に示す。流速測定では水槽内に

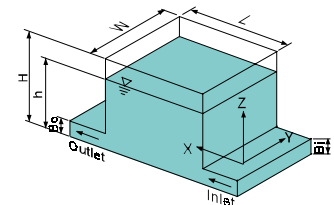


Fig.-1 実験水槽概略

Table-1 実験条件

流入流量:Q(l/min)	750	900	1050
平均流入流速:U(m/s)	0.52	0.63	0.73
流入Froude数Fr	0.83	1.00	1.16
水深:h(m)	0.325		
空気混入	あり(少)	あり(多)	あり(多)
スロッシング	あり	あり	なし
水槽幅:W(m)	0.6		
水槽高:H(m)	0.5		
水槽長:L(m)	0.5		
流入出口高:B,Bo(m)	0.04		

備考: $Fr=U/\sqrt{gB}$ (1/2)

トレーサ粒子を散布し、水槽壁面および上部からストロボスリット口を照射し、その粒子運動を CCD カメラにて撮影した画像を PTV システムを用いて処理する。流速データは X-Z 断面を対象に解析・処理する。本文では流入口において水槽中央床面を原点とし、流下方向: X, 幅方向: Y および鉛直方向: Z, それぞれの流速を u , v および w とする。

3. 実験結果および考察

3.1 水槽内の平均流況特性

Fig.-2 はスロッシングが生じ、空気混入が比較的小さい $Q=750\text{l/min}$ における X-Z 断面

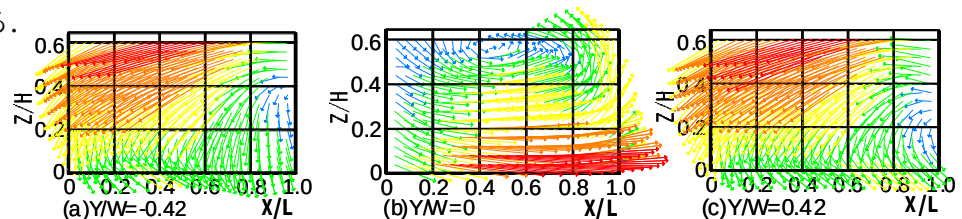


Fig.-2 平均流速分布 (X-Z 断面, $Q=750\text{l/min}$)

の平均流速分布図を示したものである。流速が大きくなるにつれて流速ベクトルが平均的に大きくなることを除けば、スロッシング発生の有無に関わらずほぼ同様の流況である。水槽中央断面: $Y/W=0$ では、噴流として流入した流れが流出口壁面に衝突して上向きの流れとなり水面を上昇させ、流下方向と逆の流れとなって沈み込み容器全体として 1 つの循環流を形成していることが認められる。水槽側壁に近い断面: $Y/W=-0.42$ および $+0.42$ では流出口側から流入口側へ向かう戻り流れとなっていることが認められる。スロッシングは中央断面と側壁に近い断面の平均流速分布の違い、すなわち流れの 3 次元性が発生の一要因と考えられる。

3.2 水面および流速変動特性 Fig.-3 は Fig.-2 と同じ流れ条件である $Q=750\text{l/min}$ における $Y/W=-0.17$ の (a) 水面変動、水面付近: $Z/H=0.92$ の (b) 流速 u および (c) 流速 w のスペクトル分布を X/L をパラメータとして示したものである。Fig.-3(a)は流入口付近において 1.2Hz 程度の卓越したスペクトルが認められる。この卓越したスペクトルは自励振動周期とほぼ同様であることから、この周期がスペクトルの周期であると思われる。また Fig.-3(b)でも水槽中央断面とは異なり、Fig.-3(a)とほぼ同様な周波数で卓越したスペクトルが表れているが、スペクトル最大値が水槽中央付近であることが認められる。Fig.-3(c)において、Fig.-3(a)とほぼ同程度の周波数で卓越したスペクトルが表れており、流入口付近のスペクトル分布も類似していることから、鉛直方向の流速変動がスロッシングを生じさせていると考えられる。

キーワード 空気混入 スロッシング スペクトル解析

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

Fig.-4 はスロッシングが発生せず、空気巻き込みの発生が比較的多い $Q=1050\text{l/min}$ における X-Z 断面の(a)水面変動, 水面付近の(b)流速 u および(c)流速 w のスペクトル分布を示したものである。

Fig.-4(a) では, Fig.-3(a)とは異なり, 流入口から流出口にかけて 1.2Hz 程度において顕著

なスペクトルが認められる。Fig.-4(b)では, Fig.-3(b)のような顕著なスペクトルが認められず, 各周波数で大きなスペクトル値が流出口側において現れていることが分かる。Fig.-4(c)においても, Fig.-4(b)と同様に流出口付近において大きな値があることが認められる。Fig.-5 および 6 は本実験水槽の自由振動周期 1.2Hz での X-Z 断面における(a)流速 u および(b)流速 w スペクトル分布図を示したものである。なお, Fig.-5 は Fig.-3, Fig.-6 は Fig.-4 での流況下である。

Fig.-5(a)では水槽中央で発生していることが認められる。Fig.5(b)においては流入出口近傍の水槽中央付近において顕著であることが分かる。スロッシングがない場合(Fig.-6)では, Fig.6(b)に流出口付近に卓越して現れているのが認められるが, スロッシングが生じている時とは異なり局所的な流速変動でないことが分かる。以上のことからスロッシング発生時の水槽内における流速変動概略図を Fig.-7 に示した。水槽中央の水面付近において水平方向の流速変動が周期的に発生し, なおかつ流出および流入口付近において鉛直方向の流速変動が交互に発生することで, スロッシングが励起されるものと考えられる。

4. まとめ 今回の検討により水槽内の局所的な流速変動が水面に影響を与え, スロッシングの発生過程を定性的に明らかにした。今後は実験で得られた見知を基に数値解析によるシミュレーションを行う予定である。

参考文献 (1)落合, 遠藤, 和田: 土木学会第 44~54 回年次講演会講演概要集。 他

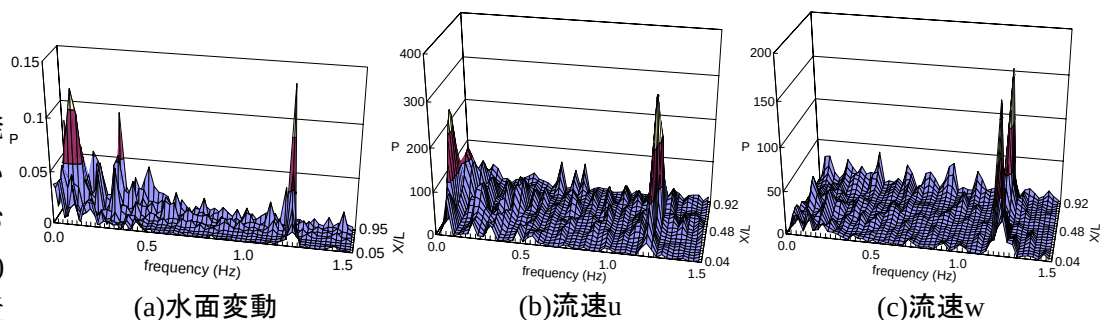


Fig.-3 スペクトル分布図 (X-Z断面, $Q=750\text{l/min}$, $Y/W=-0.17$, $Z/H=0.92$)

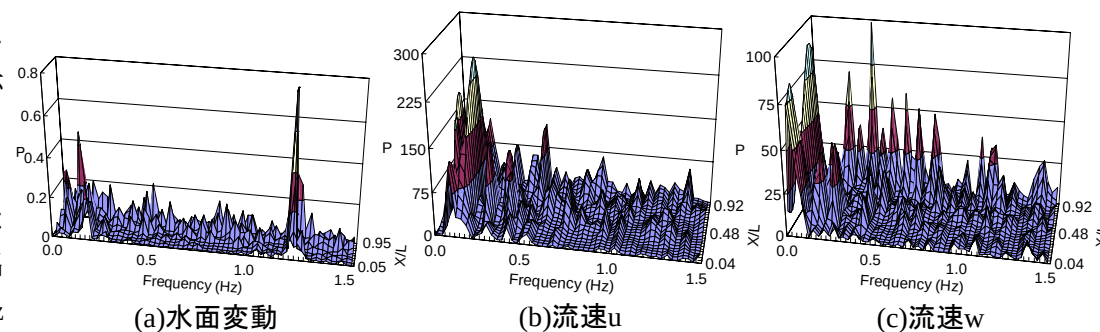


Fig.-4 スペクトル分布図 (X-Z断面, $Q=1050\text{l/min}$, $Y/W=-0.17$, $Z/H=0.92$)

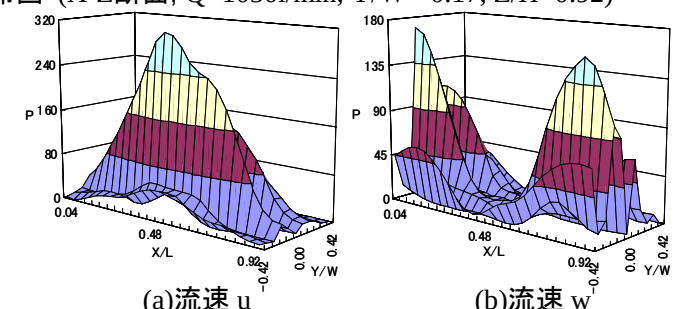


Fig-5 スペクトル分布図(X-Z 断面, $Q=750\text{l/min}$, $T=1.2\text{Hz}$)

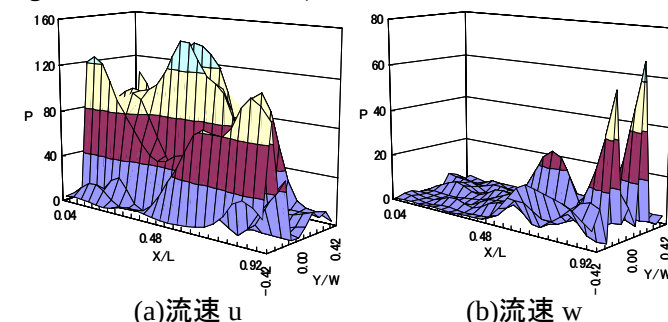


Fig-6 スペクトル分布図(X-Z 断面, $Q=1050\text{l/min}$, $T=1.2\text{Hz}$)

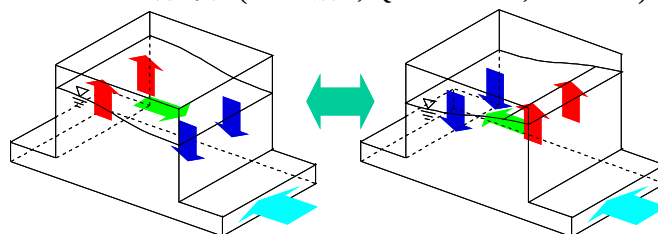


Fig.-7 スロッシング発生時における流速変動概略図