

回転流れ系による津波を対象とした飽和浮遊砂濃度に関する水理実験

秋田大学 ○学生会員 阿部千恵美

秋田大学 正会員 高橋 智幸

1. はじめに

津波災害において、従来は高い波高や大流速が特に注目されてきた。しかし、津波による問題はそれだけでなく、大量の土砂が移動することによる様々な問題の発生が懸念されている。具体的には、洗堀による構造物の倒壊、堆積による航路埋没、農地の塩害、取水口の閉塞等である。ゆえに、津波による土砂移動を定量的に評価する重要性が増してきている。

現在使用されている土砂移動モデル（例えば、高橋ら（1999））では、浮遊砂濃度の上限が明確に示されていない。実際には、強い流れによって巻き上げられた浮遊砂は流れが強くなるに従い増加するが、浮遊砂量が増えすぎると砂を浮遊させている力（乱れ強度）の低下が起こる。ゆえに、これ以上は増えない浮遊砂量が存在していると考えられる。しかし、この浮遊砂が増加しなくなる（飽和する）条件については未だ明らかにされていない。この飽和浮遊砂量は津波防災において土砂移動モデルを高精度化するための重要なパラメータとなる。

よって本実験では、攪拌機とビーカーを用いた方法で浮遊砂の飽和する条件について水理実験を行って明らかにする。

2. 水理実験

飽和浮遊砂濃度と乱れ強度の関係を求めるため、水理実験を実施した。

実験装置を図-1 に示す。10000rpm までの回転数を持つ攪拌機をビーカーの中央部に設置し、プロペラの羽根を回転させることで水に流れを発生させた。

実験は固定床と移動床の2つの条件で行った。浮遊砂濃度の測定には透過光式濁度計、流速の測定には電磁流速計を使用した。電磁流速計では砂の入った状態での流速を測定することは困難であるため、濃度測定中はピトー管を用いて主流速を測定した。固定床では電磁流速計で測定される乱れ強度 u' とピトー管で測定した主流速 U_p の関係、移動床で浮遊

砂濃度 C とピトー管で測定した主流速 U_p の関係を求めた。そして、最後に乱れ強度と飽和浮遊砂濃度の関係を導いた。

固定床実験では、攪拌機の回転数 3000rpm, 5000rpm, 8000rpm, 10000rpm の4パターンにおける流速を流速計の設置高さを変えて測定を繰り返した。ピトー管も同様である。

移動床実験では、3種類の単一粒径を用いた。使用した砂の種類と粒径を表-1 に示す。濁度計とピトー管を同じ測定高さに設置し、浮遊砂濃度と濃度測定時の主流速を測定した。攪拌機の回転数は固定床と同様の4パターンを使用した。

以上の実験より、ピトー管で測定した主流速 U_p から乱れ強度 u' を推測した。その乱れ強度 u' と浮遊砂濃度 C の関係について求めた。

ここで、攪拌機による流れの形態について簡単に説明しておく。攪拌機による円筒形攪拌槽内の流動形態は、上下循環流、軸を中心とする回転流、放射流の3つがある。今回実験で使用したプロペラは低粘度液の混合や固体の浮遊に適している（化学工学会東海支部編（1990）；山口巖（1967））。

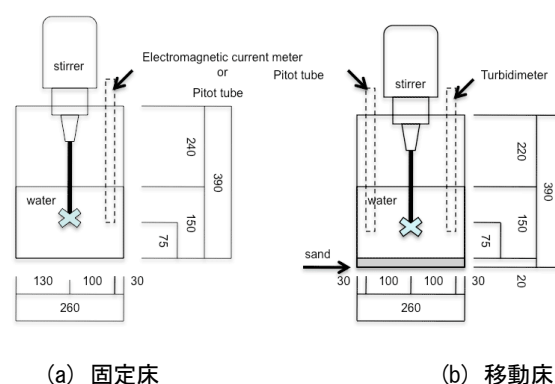


図-1 実験装置

表-1 砂の粒径と比重

Grain diameter [μm]	Rnage[μm]	Product name	Specific gravity
100	53~150	Iide keisa F-7	2.34
200	150~250	Toyoura keisa	2.41
300	250~355	Iide keisa W-6	2.63

3. 結果と考察

今回は水面の波の影響が少なく、安定した回転流をしていた底面から 3 cm と 4 cm の 2 箇所についてまとめることとする。

固定床実験において電磁流速計で測定した流速 u に 5 秒の移動平均をかけて主流速 U_e を求めた。図-2 に u 、 U_e およびピトー管で測定した主流速 U_p を示す。また、流速の変動成分を次式で求めると、

$$u' = u - U_e \quad (1)$$

乱れ強度は、

$$\sqrt{u'^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u - U_e)^2} \quad (2)$$

となる。ここで、 N はデータ数である。図-3 に示した各回転数における乱れ強度 u' と主流速 U_p の関係から次式を得た。

$$\sqrt{u'^2} / U_p = 0.078 U_p \quad (3)$$

次に、移動床実験において濁度計で測定した浮遊砂濃度 C_s とピトー管で測定した主流速 U_p の関係を図-4 に示す。浮遊砂濃度は時間的に変動するため、最大値、最小値、中間値をプロットしてある。これらの関係から次式を得た。

$$C_s = a U_p^2 \quad (4)$$

ここに、 a は粒径および底面からの高さで変化する係数であり、それぞれの条件での値は表-2 に示す。

(4) 式に固定床で求めた (3) 式を代入することで、浮遊砂濃度 C_s と乱れ強度 u' の関係式である (5) 式を導いた。

$$C_s = b \left(\sqrt{u'^2} / U_p \right)^2 \quad (5)$$

ここに、 b は粒径および底面からの高さで変化する係数であり、それぞれの条件での値は表-2 に示す。

粒径が小さくなるほど係数 b は大きくなり、砂が浮遊しやすくなることが分かる。

4. おわりに

本実験では、乱れ強度に対してどの程度の浮遊砂濃度が発生しうののかという物理的な性質を回転流れの条件で測定した。しかし、本実験装置では浮遊砂濃度が飽和するまでの値を測定することは困難である。今後は、より乱れを発生させられるようなも

のを設置する、あるいは水路による実験にするなど実験装置を改良する必要がある。また、本実験が対象としたのは底面近傍のみであり、津波を想定するとより上方についても検討する必要がある。

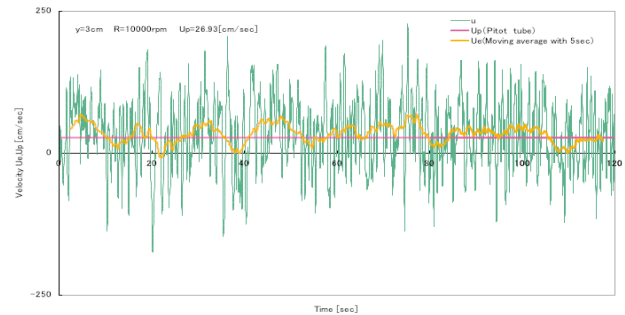


図-2 流速の時間変化

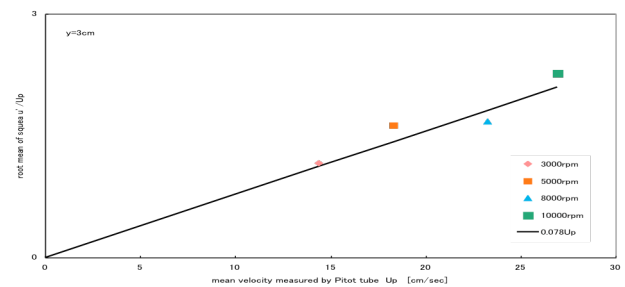


図-3 乱れ強度と主流速の関係

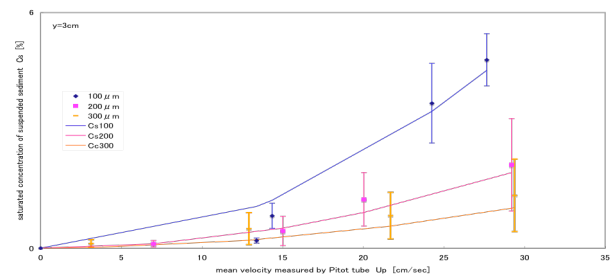


図-4 浮遊砂濃度と主流速の関係

表-2 乱れ強度と浮遊砂濃度の関係式の係数

y[cm]	d[μm]	a	b
3	100	5.92×10^{-3}	0.973
	200	2.26×10^{-3}	0.371
	300	1.19×10^{-3}	0.196
4	100	6.28×10^{-3}	3.93
	200	1.97×10^{-3}	1.23
	300	1.34×10^{-3}	0.838

参考文献

- 高橋智幸・首藤信夫・今村文彦・浅井大輔 (1999) : 掃流砂層・浮遊砂層間の交換量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46号, 土木学会, 606-610
- 化学工学会東海支部編 (1990) : 攪拌・混合, 槓書店
- 山口巖 (1967) : 混合および攪拌: 理論から運転まで, 化学工業社