

砕波に伴う海底砂の浮遊現象に関する実験的研究

金沢工業大学大学院 学生員 兼藤 剛
 金沢工業大学大学院 学生員 橋本 彰雄
 金沢工業大学 正会員 鷲見 浩一

1.はじめに

砕波による海底砂の巻き上げは、砂を浮遊させ移動させるため、海岸での漂砂現象に強く関係している。近年では、砕波帯内での砂の浮遊現象について、種々の研究がなされており、砕波に伴う渦や乱れが底質の移動と浮遊に支配的であることが確認されている。しかし、砕波による砂の浮遊機構については、砕波という力学的に極限状態にある物理現象を対象としているので、その評価が困難であり、依然として不明な点が多いのが現状である。

そこで本研究では、砕波による海底砂の浮遊現象に関して基礎的な知見を得るために、PIV システムを用いた水理実験を実施して、入射波の伝播に伴う砂の浮遊過程を考究した。

2.実験概要

本研究では、流体中で砂の移動速度を PIV システムによる可視化水理実験で測定可能であるかを検討する実験Ⅰと砕波に伴う砂の浮遊過程を究明する実験Ⅱの2つの水理実験を行った。実験ⅠとⅡで用いる PIV システムは、流体中に注入したトレーサー粒子をストロボスコープで照射し、CCD カメラ(SONY 製:WB CCD)で可視化画像を撮影して、この画像を解析することで、流体中の速度場を定量的に把握するものである。実験では、トレーサー粒子としてケイ砂(中央粒径 $d_m = 0.3\text{mm}$, 比重 2.65)を用いた。

実験Ⅰでは、図-1に示すメスシリンダー(直径 6.0cm, 高さ 40.5cm)を用いて、空気中から砂を自由落下させて、メスシリンダー側方に設置した CCD カメラで撮影時間間隔 1/30s で砂の沈降過程の撮影を行い沈降速度 w を算定した。撮影領域(縦 29.5cm×横 22.13cm)は、メスシリンダー内の空気中と水中を含むように設定した。また、流体中での砂粒子の沈降速度 w_0 は式(1)で示される Rubey の式で与えられ、実測値との比較に用いた。

$$w_0 = \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)}{3\rho}gd + \frac{36\nu^2}{d^2}} - \frac{6\nu}{d} \quad (1)$$

ここに、 ρ' は砂粒子の密度、 ρ は水の密度、 d は粒子の直径、 ν は水の動粘性係数である。

実験Ⅱでは、図-2に示す金沢工業大学水理実験室の片面ガラス張り 2 次元造波水槽(長さ 10m, 幅 0.7m, 高さ 1.0m)を用いて、水深 $h=40\text{cm}$ の水平固定床上に勾配 $\tan\beta = 1/10$ (長さ 4.8m, 高さ 0.48m)の亚克力製の海底勾配を設置して行った。ケイ砂を用いた移動床の区間は、汀線から沖方向に 2m とした。水路側方の CCD カメラで 1/30s 毎に砂の浮遊過程の撮影を行う。撮影領域(縦 25.8cm×横 34.4cm)は、海底勾配上の砕波点付近に設けた。実験波は、入射波高 $H_1 = 6.0\text{cm}$, 周期 $T = 0.8\text{s}$ の規則波であり、砕波形式は Spilling 砕波となる。

3.実験結果

3.1 砂の沈降速度

砂粒子の沈降速度分布を図-3に示す。砂粒子が水中に落下した直後の $0 < Z \leq -5\text{cm}$ では、水の抵抗を受けて沈降速度が後述する下方領域と比較すると小さくなっている。 $-6 < Z \leq -10\text{cm}$ では、減少した沈降速度が少しずつ増加している。 $Z < -10\text{cm}$ では、沈降速度の増加量が少なくなり $w=3.6\text{cm/s}$ から $w=4.3\text{cm/s}$ の範囲の速度である。

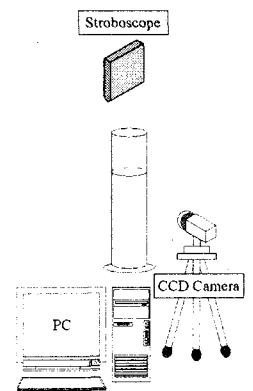


図-1 沈降実験装置

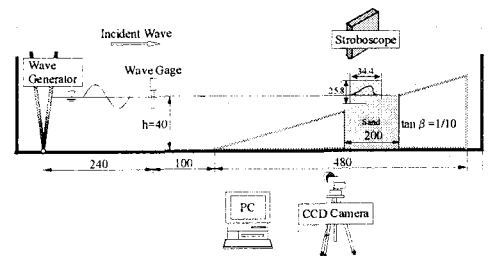


図-2 実験水槽と撮影領域(単位:cm)

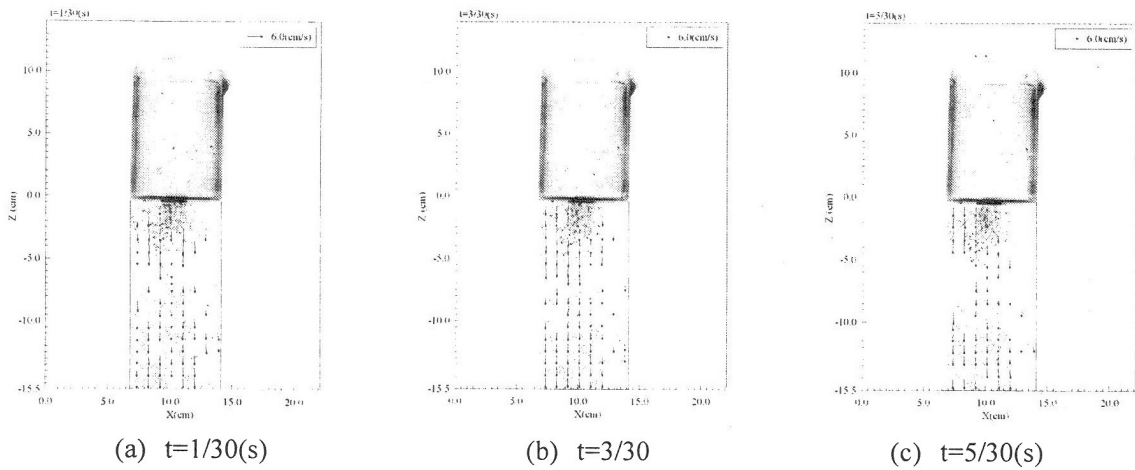


図-3 砂粒子の沈降速度分布

$Z < -10\text{cm}$ での沈降速度の実験値と理論値の関係を図4に示す. 理論値は, 式(1)より算定すると $w_0 = 4.03(\text{cm/s})$ であり, 実験値は $-14 < Z \leq -12(\text{cm})$ と $Z \leq -14(\text{cm})$ の領域での平均流速をプロットしてある. 理論値と実験値を比較すると, 水深が $Z \leq -14(\text{cm})$ の領域の沈降速度は, よく一致しており, PIV システムによる可視化水理実験で砂粒子がトレーサーとなりうることが確認できた.

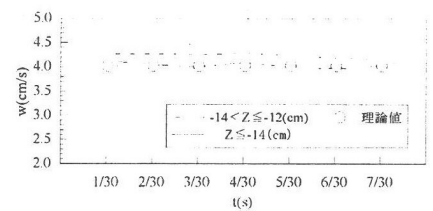


図-4 沈降速度の実験値と理論値

3.2 碎波に伴う海底砂の浮遊過程

図-5は, 碎波に伴う砂の浮遊する過程の撮影画像を示している. 図-5(a)に示す $t/T=0.500$ の時刻では, $0.07 < X/L \leq 0.095$ と $0.13 < X/L \leq 0.22$ の領域で砂が浮遊している. $1/30\text{s}$ 後の図-5(b)に示す $t/T=0.542$ の時刻では, $0.085 < X/L \leq 0.115$ と $0.13 < X/L \leq 0.21$ の領域で砂が浮遊している. 図-5(c)に示す $t/T=0.583$ の時刻では, 2つの領域が重なり $0.115 < X/L \leq 0.225$ の領域で砂が浮遊している. 時刻 $t/T=0.500$ から $t/T=0.583$ 間の砂の浮遊状態は, 波に伝播に伴い $0.07 < X/L \leq 0.095$ の領域の砂は波の進行方向に移動し, $0.13 < X/L \leq 0.22$ の領域の砂はほとんど移動せず, 2つの領域の浮遊砂が合流することが判明した.

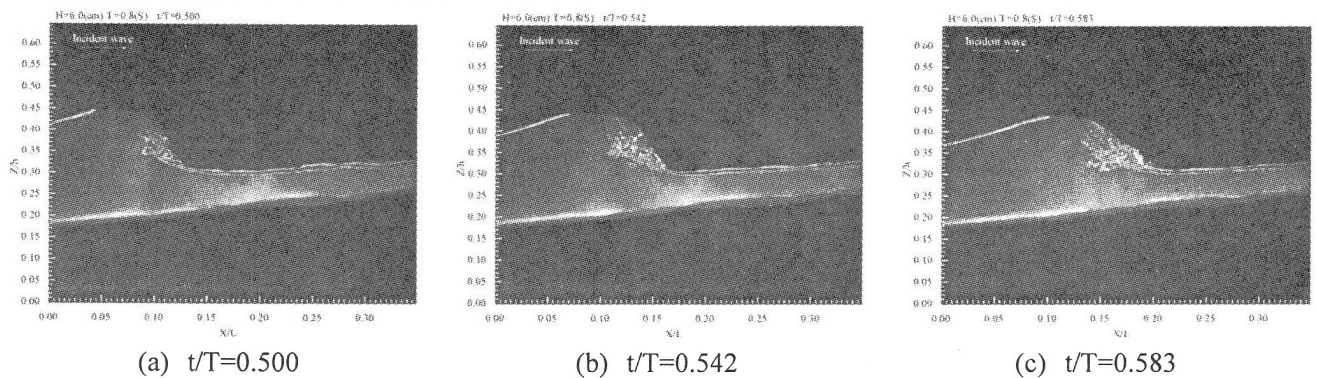


図-5 砂の浮遊分布

4. 結論

今回, 流体中での砂の移動に関して実験を行い, 実験 I では, 砂の沈降速度を PIV システムにより算出した実験値と理論値が一致し, PIV システムによる可視化水理実験で砂粒子がトレーサーとなりうることが確認できた. 実験 II では, 入射波の伝播に伴い, $0.07 < X/L \leq 0.095$ の領域の砂は波の進行方向に移動し, $0.13 < X/L \leq 0.22$ の領域はほとんど移動せず, 2つの領域が重なることで砂の浮遊範囲を拡大することが判明した. しかし, 今回の研究では, この浮遊砂の移動速度を求めることができなかった. 今後の課題として, 浮遊砂の移動速度を求め砂がどのように移動するのか究明しなければならない.

【参考文献】

榎木 亨(1991):波と漂砂と構造物, 技報堂出版(株), pp.457-458.