波による底質の浮遊砂移動に関する基礎的研究

九州大学工学部　学生員○三原　泰司　　正　員　入江　功
正　員　小島　治幸　　正　員　牛房　幸光

1．研究目的および背景の概要

岸沖漂砂には、波形勾配·波の非線形性·流速波形の歪（Skewness）·底質特性·砂れんの形状特性·海底勾配などが関係することが知られているが、実験的手法の困難さなどのため、これらの要素が相互にどの程度岸沖漂砂に寄与するのかについては、いまだ明らかにはされていない。

本研究は固定床砂れんを用いることで岸沖漂砂特性を明らかにする手法について検討するものである。砂れんを固定化することで、波の特性と砂れんの形状特性とをそれぞれ独立に取り扱うことができ、移動床の場合のように波の特性が決まれば砂れんの形状特性が一意的に定まるようなことがなくなる。さらに移動を追跡する底質の沈降速度を種々変化させることにより、底質特性も独立したものとして取り扱うことができる。

このように固定床砂れんを用いれば、同一の実験水槽のなかで岸沖漂砂に関係する諸要素の諸元を相当広範囲に変化させて、調べることができるようになる。諸元の選び方によってはある程度大スケールの岸沖漂砂現象も再現できることが期待される。なぜなら、底質移動の水理模型実験では、フルードの相似則による模型縮尺L_rに対し、底質の沈降速度の縮尺ω_rは、$\omega_r=\sqrt{L_r}$で近似的に関係ずけられ、底質の沈降速度を適当に選ぶことで異なったスケールの現象を再現したとみなすことができるからである。

以上に述べた固定床砂れんを用いる手法を用いるには、それが、移動床における底質移動を再現するものかについて確認する必要がある。そこで本研究では、ある条件下での移動床および固定床による底質移動現象を水槽内に再現し、浮遊砂の鉛直分布·正味の岸沖漂砂の移動量·底質移動機構のビデオ撮影による詳細な観察などを行って調べた。

2．実験の方法

実験は、長さ28m、幅0.3m、高さ0.5mの2次元造波水路で行った。移動床としては、中央粒径0.16mmの細砂を3mの区間にわたり6cmの厚さで水平に敷きならし、両端に1:3の勾配をつけて造った。これに表-1に示す4種類の規則波を作用させ、水深（h）を30cmとして実験を行った。このとき、砂れんの波長（λ）、波高（η）と浮遊砂濃度の鉛直分布を波作用後1時間、3時間、5時間に測定した。波作用を止めた後、底質の正味の移動方向と移動量を測った。浮遊砂濃度の測定方法は、内径3mmの銅管を用いてサイフォンを造って採水した。採水時間は各ケースとも1分から3分の間である。基準底面z=0の点の濃度は、図-1に示すzone①、②、③の濃度にそれぞれの面積をかけたものの合計を総面積で割った場所的平均濃度とし、z=ηの高さについても同様にして求めた。砂の移動量については、移動床を造る際に、沖側、岸側の両端の斜面部分および斜面肩から内側に20cmの間に敷きならした砂の量を測っておき、波作用後にその区間から沖方向、岸方向へ散らばった砂の量を測ることにより求めた。また、周期1.5秒の波高8.0cmの場合は、底面近傍の流速と浮遊砂濃度の時間波形を電磁流速計と、光学式濃度計で測定し、底質移動の現象をビデオ撮影した。

表-1　実験ケース

T(sec)	H(cm)	H/L	h/L	U_r
1.2	8.0	0.039	0.146	12.5
1.5	8.0	0.031	0.117	19.6
1.5	10.0	0.031	0.117	24.5
1.8	8.0	0.097	0.097	28.2

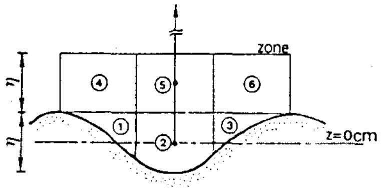

図-1　浮遊砂濃度測定点

固定床としては、周期1.5秒、波高8.0cmの波を5時間作用した後の移動床を固定したものを用いた。固定床砂れんにおいては、まず、その上での底質の移動現象が移動床での底質移動を再現できるかを確認する目的で、浮遊砂濃度の鉛直分布と砂れん近傍における濃度の時間変化の測定およびビデオ撮影を行った。この際、移動床に用いたのと同じ底質を砂れんの谷にそれが半分埋まる量（約35g）で1.5m区間に置き、濃度の測定はそのほぼ中間地点で波作用後3分より始めた。濃度の測定法は移動床と同じである。次に、砂れんの二つの谷にそれぞれの谷が2/3ほど埋まる量（約60g）の砂を入れ、それに波を作用させることによりその砂が分散する状況を各砂れんの谷にたまる底質の量を測ることで求めた。岸沖方向に広がった底質分

布の重心の位置を求め、正味の岸沖漂砂の移動量を調べた。

3．実験結果と考察

(1)砂れんの形状

今回の実験で得られた砂れんのスケールについて検討すると、砂れんの波長について、金子[1)]が提案している式 $\lambda/d_0=2.1(d_0/d_{50})^{-1/5}$ ($d_0/d_{50}>1000$では、$\lambda=1000d_{50}$) との比較を行った。実験より得られた砂れん波長λと水粒子軌道の大きさd_0との比λ/d_0と、d_0と底質粒径との比d_0/d_{50}との関係は、ややλ/d_0が低めにでたものの良い対応を示した。また、砂れんの波高ηについては、本間ら[2)]が提案している式 $\eta=0.175(\lambda/d_0)^{0.19}\lambda$ から求まる値と実験値との関係を調べてみると、今回の実験の方が大きめにでているが、良い対応を示した。これらのことより、今回の実験における砂れんは特に特異な状況にはなかったといえる。

(2)浮遊砂の鉛直分布

移動床における浮遊砂の鉛直分布は、$C(z)=C_b\exp(-wz/\varepsilon)$で表せる。ここに、$C_b$は基準底面における浮遊砂濃度、wは底質の沈降速度、zは基準底面からの高さ、εは鉛直方向の拡散係数である。また、固定床における浮遊砂分布に関する諸元をすべて(')をつけて表示すれば、w、εについては移動床と同じであるから、$C(z)'=C_b'\exp(-wz/\varepsilon)$

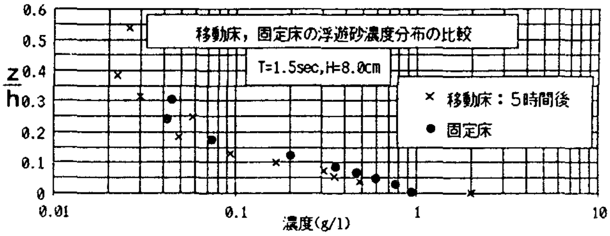

図-2　移動床、固定床の浮遊砂濃度分布の比較

従って、$C(z)/C'(z)=C_b/C_b'$となり、移動床と固定床では互いにある定数を介して類似のものとなる。

図-2は、本実験における移動床と固定床の砂れんの谷に底質を置いた場合の浮遊砂分布の測定結果であるが、両者は基準底面での濃度に連続した互いに類似の分布形をなしている。ただし、固定床砂れんに置く底質の量によっては相似な分布は保ちつつも、浮遊砂の量は変化することも考えられる。

このように固定床砂れん上の分布が同じ砂れん形状の移動床の場合と相似の浮遊砂分布をなすことは、移動床に変わって固定床にて波による底質の浮遊特性を調べることができることを示すものである。

(3)岸沖漂砂量

固定床では、砂れんの二つの谷に移動床のときと同じ底質を置き、波を作用させた後に底面上に広がった底質の分布を調べた。底質の分布の重心が移動する速度をV_Gとすれば岸沖漂砂量は、次のようである。

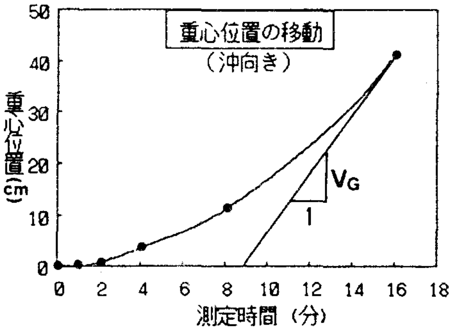

図-3　底質分布における重心位置の移動

$$Q'=\left(\int_0^h C'(z)dz\right)\cdot V_G$$

図-3は、底質分布の重心の移動に関する実験結果を示すが、その移動距離は時間と共に２次曲線に乗って、増大している。これは、投入位置での底質が漂砂の方向に供給されている間は２次曲線的に増え、その供給がなくなったときに一定の速度で移動するものと考えられる。この場合の移動速度が、底質分布の移動を示すものと考えられるので、図-3に示すように、２次曲線に対する接線の勾配が、底質の平均移動速度V_Gを示す。

以上より、固定床砂れんの利用が岸沖漂砂量を調べる上に非常に有効であると考えることができる。

【参考文献】1)金子　新：振動流中で形成されるサンド・リップルの波長、第27回海岸工学講演会論文集、1980、pp. 207～210　　2)本間　仁・堀川清司・鹿島遼一：波による浮遊砂に関する研究、第11回海岸工学講演会論文集、1964、pp. 159～168