

II-284

砕波帯外に生ずる定常循環流

九州大学大学院○宗方鉄生 日本文理大学 工学部 樋田 操
九州大学 工学部 松永信博 九州大学 工学部 小松利光

緒言： 沿岸域において、波による質量輸送現象を把握することは、漂砂量の推定や、砕波帯内・外における海水交換プロセスの解明など工学上極めて重要なことである。しかしながら、沿岸域内に生ずる質量輸送速度に関する詳細な研究は少ないように思える。Bagnold¹⁾は、水平床上を波が進行するとき底面に沿って岸向きの質量輸送が生ずることを実験によって初めて見出した。Longuet-Higgins²⁾は、二次元浅水波が水平床上を伝播するとき発生する定常流を理論的に明らかにした。Bijker³⁾や平山⁴⁾は、底面勾配を考慮した理論的研究を行うとともに、トレーサーとして粒子を用いた実験を行った。一方、松永⁵⁾は、二次元規則波が一様勾配斜面上を遡上するとき、砕波点より沖側で沖方向へ移流する渦列が存在することを実験で見出し、また底面の流速は、底面勾配に依存しない形式で表わせることを明らかにした。本研究では、規則波によって傾斜面上に生ずる岸向き底面定常流を種々の粒子を用いて測定し、トレーサーによりどれだけの測定誤差が生ずるかを明らかにした。そして、その結果から測定に最適であると考えられるアニリン・ブルー染料を用い、規則波によって砕波点から沖側で生ずる定常流速の鉛直分布と、不規則波による底面定常流速を測定した。

実験装置及び実験方法： 規則波による種々のトレーサーによる岸向き底面定常流速の測定と定常流の鉛直分布の測定は、フラップ式の二次元小型造波水槽を用いた。前者の実験においては、トレーサーとしてピオセラン(比重1.002, 粒径0.185 cm)、ポリスチレン・ビーズ(比重1.03, 粒径0.185 cm)およびガラス・ビーズ(比重2.45, 粒径0.185 cm)を用い底面勾配を1/23.1とした。トレーサーを底面上に投下し、一定区間をトレーサーが岸向きに移動するのにかかる時間を測定した。測定は10数回行い、その平均時間からトレーサーの平均移動速度を求めた。後者の実験においては、底面勾配を1/21.7とし、 kh の値を0.47~0.71の間で変化させて行った。ここで k は測定位置における波数($2\pi/L$)であり、 h は測点における平均水深である。アニリン・ブルー染料が時間と共に変形していく過程をビデオ撮影し、波の数周期間の染料の移動距離とその経過時間より定常流速を算出した。不規則波による岸向き底面定常流速を測定する実験においては、ピストン式の二次元不規則波造波水槽を用い、底面勾配を1/10とした。不規則波は、Bretschneider-光易型スペクトルをもつ1分間の不規則波を繰り返して与えた。沖波有義波高($H_{1/3}$)は6.77~10.4 cmの間で、沖波有義波周期($T_{1/3}$)は1.29~2.27sの間で変えた。全ての実験において、各測点における局所的代表量(波高 H 、波長 L 、波速 C)は、容量式波高計を用い測定の前後において計測した。

実験結果及び考察： 図-1は種々の粒子を用いて測定した岸向き底面定常流速の測定結果を示す。図中の直線は松永らにより得られた経験式を、曲線はLonguet-Higginsによる水平床での理論解を示す。この図より、粒子の比重が大きくなる程流速は小さく評価されることがわかる。この原因は、明らかに粒子の流れに対する追従性によるもので、トレーサーに粒子を用いて流速を測定する場合、比重に応じてかなりの測定誤差が生ずることになる。このことから、質量輸送速度の測定においてはトレーサーとして染料を用いる方法が最適であると考えられる。

松永らは、一様斜面上を波が進行してくるとき、砕波帯外に沖方向に移動する渦列が存在することを見出した。そしてその渦

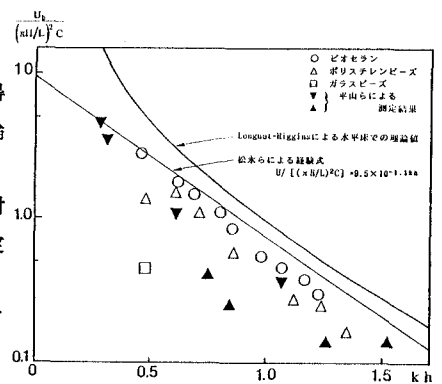


図-1 トレーサーによる 岸向き底面定常流速の比較

の形成領域は kh と H/L により区分されることを明らかにした。渦の形成領域内・外において、それぞれアニリン・ブルー染料を用いて定常流速を測定し、その測定結果を比較したところ鉛直分布に相似性がみられた。そこで、代表速度として岸向き底面定常流速 U_b を用いて各領域ごとに定常流速 u を、無次元表示したものが図-2(a), (b)である。これらの図より、種々の kh と H/L の値における流速分布は図中の曲線で示されるように渦の形成領域内・外においてそれぞれ異なった傾向を持つ。しかし、このことは、渦の中心が $z/h=0.3\sim 0.4$ にあること、渦が沖方向へ移動すること、また渦の回転が反時計回りであることなどを考えあわせれば妥当なものであると思われる。

図-3は、不規則波によって生じた岸向き底面定常流速の測定結果を示したものである。この図において、 $H_{1/3}$, $L_{1/3}$, $C_{1/3}$ および $k_{1/3}$ ($2\pi/L_{1/3}$) は、それぞれ定常流速測定位置における有義波高、波長、波速および波数を示したものである。図中の3本の曲線は、Longuet-HigginsとBijkerによって得られた二次元規則波に関する理論解である。Bijkerによる理論解は $i=1/5$ においてもほとんどLonguet-Higginsの解と大差ないことがわかる。図中の○印は、 $i=1/10$ の斜面に規則波を与えたときの定常流速の結果であり、松永らが提案した経験式に非常によく一致していることがわかる。一方、不規則波による無次元底面定常流速は、松永らによって求められた、規則波による経験式に比べ小さな値をとり、

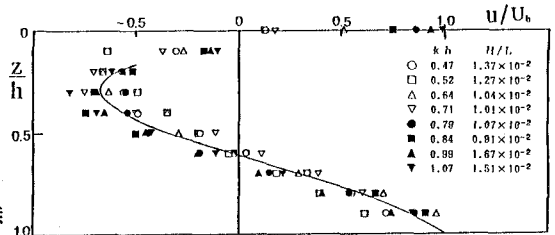
$$U_b / [(\pi H_{1/3} / L_{1/3})^2 C_{1/3}] \approx 6.0 \times 10^{-1.1kh} \quad \dots (1)$$

で与えられる。さらに規則波に対して局所量を用いて岸向き定常流速を無次元表示すると勾配 i に依存しない形で表現できるという松永らの結果を考慮すれば、不規則波に対しても底面勾配に依存しない形で定常流速を普遍表示することが出来るものと期待される。

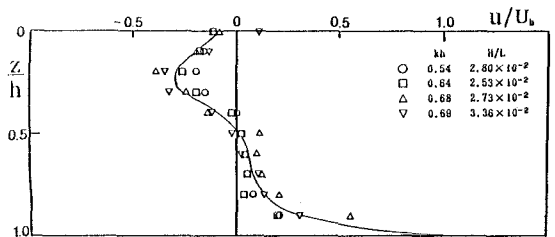
結論: 本研究より、粒子を用いた岸向き底面定常流速の測定では、粒子の比重や粒径に起因する測定誤差が生じ、測定には染料を用いる方法が妥当であることが解った。また、定常流速 u の鉛直分布形は、渦の形成領域内・外においてそれぞれ異なった傾向を持つことが解った。さらに不規則波においても岸向き底面定常流速 U_b は底面勾配に依存せず(1)式で与えられることが解った。最後に、実験及びデータ整理にご協力いただいた吉野泰君(現 電源開発)に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Bagnold, R. A.: J. Inst. Civ. Engrs., Vol.27, No.4, pp.447-469, 1947.
- 2) Longuet-Higgins, M. S.: Phil. Trans. Roy. Soc., Series A, pp535-581, 1953
- 3) Bijker, E. W.: 14th Conf. on Coastal Eng. pp. 447-465, 1974.
- 4) 平山、福島: 第35回海講論文集, pp.11-15, 1988.
- 5) 松永、竹原、栗谷: 土木学会論文報告集掲載予定



(a) 渦の形成領域外



(b) 渦の形成領域内

図-2 定常流速の鉛直分布

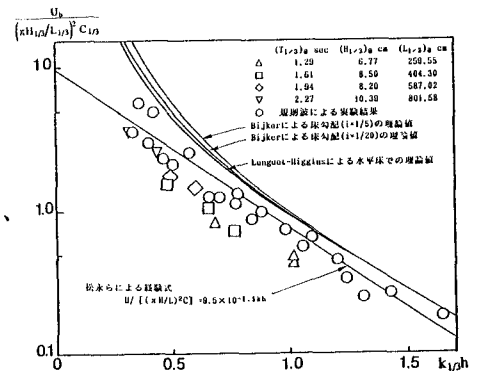


図-3 不規則波による岸向き底面定常流速