

粗面における波動乱流境界層の実験

○鳥取大学大学院 学生員 野田和久
建設省土木研究所 正 員 田中茂信
鳥取大学工学部 正 員 野田英明

1. まえがき： 海浜の侵食や堆積は、波による漂砂が原因である。海岸侵食を防止するためには、この漂砂の移動機構を解明する必要がある。この問題は海岸工学上もっとも重要な課題の一つとなっている。さらに漂砂は、波と底質の相互作用の結果生じるものであり、究極的には海底付近における流れの挙動を明らかにしなければならぬことになる。ところが、この方面の研究は現象が複雑なこと、および適当な測定装置がないことなどの理由で立ち遅れてきた。従来、波動境界層に関する理論的および実験的研究は、平均流のみを扱ったものが大部分であった。ごく最近になって乱れを取り扱った研究がいくつか見られるようになったが、波による海底近くの流れの構造が十分明らかにされたわけではない。本研究は、海底近くの流れ現象の実態把握を主目的として実験的に検討した結果を示すものである。

2. 実験概要： 実験は、図-1に示す長さ25 mのフラッター式造波装置を有する2次元波動水槽を用い、底面に高さ2 cmの鋼製アングルを敷き並べて入口粗度とし粗度間隔は8 cmと16 cmの2通りで行なった。流速の測定は、図-2の丸印で示す各測定点において50波程度超音波式流速計とホットフィルム流速計を用いて行なった。実験波は、周期1.09, 1.47, 1.92 sec、波高4.7~9.5 cmの範囲に設定した。

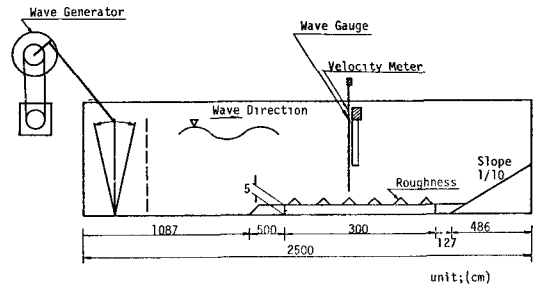


図-1 実験装置

出力は、カセットデータレコーダーにアナログ信号のまま記録させた。次に、マイクロコンピュータに内蔵のA/D変換装置により記録されたアナログ信号をデジタル信号に変換し、カセットテープに記録させた波形と流速の較正を行なって、流速のアンサンブル平均と変動流速を計算したアンサンブル平均と変動流速のRoot Mean Square値は、ライノプリンタで印刷させ、変動流速は別のカセットテープに記録させた。

3. アンサンブル平均と乱れ： 波動による水粒子運動は、基本的には非回転の周期運動である。ところがレイノルズ数が非常に大きな値を示すとか、底面に粗度が存在するとかの場合には、底面近くの境界層における水粒子運動は乱

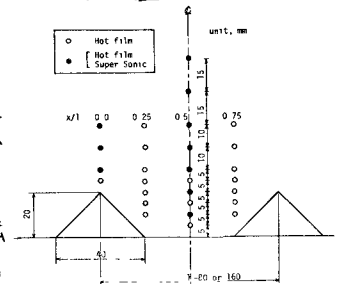


図-2 測定点

される。したがって粗面上で測定された流速は、おおまかに見れば周期的な変動をしているが、その中には不規則な変動が含まれることになる。不規則な変動を含む水粒子運動に対して周期的に変動する主流と不規則変動とに分け、平均流および変動速度の場所的および時間的な特性や両者の相互関係を調べるために、ここでは50波程度の測定データをもとにアンサンブル平均を求めて平均流速としそれと実際の流速との差を乱れと定義した。その一例を、図-3に示す。図-4は、水深40 cm、波高6.8 cm、周期1.47 secの条件で $x/l = 0.5$ における集合平均流速 $\bar{u}$ の値 ωt による変化を示し

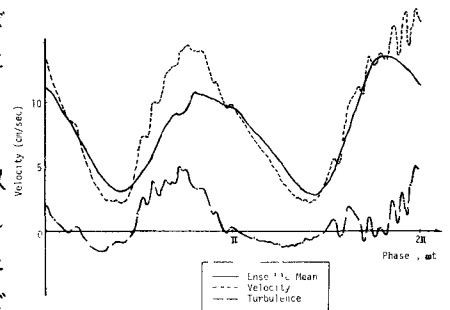


図-3 ホットフィルム流速計による乱れ

たものである。なお図には、測定点の底面からの高さ z を粗度高さ z_R で無次元化した z/z_R の値が示されている。さらに、図中の実線および波線は、それぞれホットフィルム流速計および超音波式流速計による測定結果であり、一点鎖線は S Stokes 波の第3近似解による流速を示すとともに、超音波式流速計から算出した沖向き流速および理論解の沖向き流速(負側)は、ホットフィルム流速計による結果と比較しやすいように絶対値をとって正の側に示してある。ホットフィルム流速計による集合平均流速は、流向が逆転する位相付近を除いて、 $z/z_R \geq 2$ の範囲において S Stokes 波の理論値と比較的よく一致しているが、 $z/z_R < 2$ の範囲においては、粗度の影響を受けてむしろ流速分布となっている。

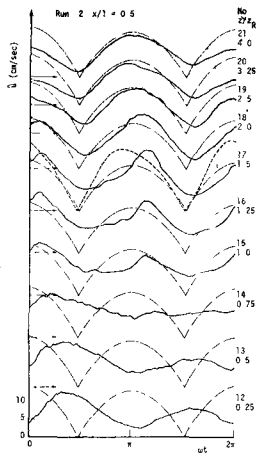


図-4 平均流速の位相変化

4. 乱れのスเปクトル: 乱れと定義した変動速度は不規則変動であり、その特性を検討するためには統計的手法によらざるをえない。従来からスเปクトル解析は、こうした不規則現象を調べる有力な手段となっている。したがって、流速測定値から分離した変動速度にこの方法を適用し、そのスเปクトル構造を明らかにすることは、波動による乱流構造の解明に重要な役割を果たすことが期待される。本研究では、変動流速の複素フーリエ成分を用いてパワースペクトルを求めた。その一例を図-5に示す。実験条件は、前述した図-4と同じである。 z/z_R の値が大きくなるにつれて(図中では、測点番号が大きくなることに対応する)、変動流速のパワースペクトルは減少していることがわかる。これは、乱れが底面近くのある限られた範囲に限定されると考えるのが妥当であることを示している。また、パワースペクトル $E(f)$ は $f > 2$ の高周波域では、周波数のほぼ $-5/3 \sim -2$ 乗に比例して減衰していることがわかり、従来、風洞実験で Favre が得た定常流に関する結果とこの傾向が類似しているが、振動流に対して日野らが示した結果とはやや異なるようである。

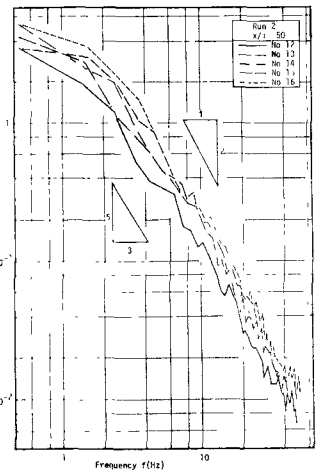


図-5 乱れのスペクトル

5. 条件抽出法: 粗度近辺における流れの挙動を明確にするために定常流において bursting と呼ばれる突発的な速度変動の解析に適用される VITA (Variable Interval Time Averaging) によって条件抽出を試みた。VITA は 変動量の時間変化がその時間平均値に比べて大きな値をとるとき、そこに異なった構造が現れるとして条件抽出を行なうもので、平均時間 T_i における局所分散を求めその値が、 $k u'_{rms}$ (k ; 係数, u'_{rms} ; 変動速度分散) より大きい場合1、それ以外の場合0として識別した。本研究では、常に k を1とした。図-6aは、変動流速の時間的変化を示すもので、同図b~dは平均時間 T_i をそれぞれ0.06, 0.03, 0.05 secとして求めた局所分散を示している。図中の破線は $k u'_{rms}$ の値を示している。同図eは、 $T_i = 0.05$ としたときの識別関数である。図-7に上記の方法により求めた累積識別関数の位相変化の一例を示す。

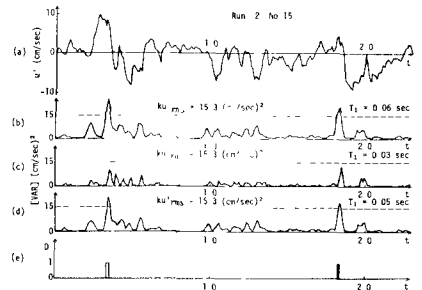


図-6 VITA

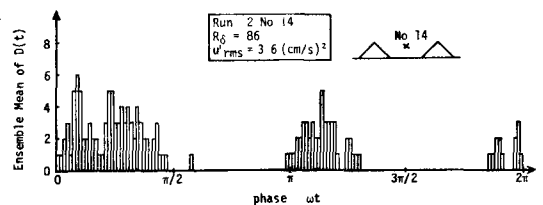


図-7 累積識別関数