

京都大学工学部 正会員 酒井哲郎

学生員 稲田義和

1. まえがき 砕波帯での水理現象は、海岸工学上のいくつかの重要な問題に直接関係しており、最近では海浜流の研究を中心に大きく進歩した分野である。しかしながら、例えば沿岸流理論を考えた場合、沿岸流の岸沖方向分布形状を現実に近い効果をもつ水平渦動粘性係数は、これまでは入射波の諸元などを用いて表現しており¹⁾、砕波帯内の渦動粘性係数の支配的要因と考えられる砕波による乱れについては、これまで実測された例はほとんどなく²⁾、はたして開水路流れにおける乱れのように、つねに外部からエネルギーを得て減衰することのない次元乱れとして存在しているかどうかという問題を含めて、よくわかっていない。最近、実験水槽内の斜面上で砕けた波によって生じる乱れを流れの可視化によって観察し、その結果、砕波後の乱れは turbulent shear layer などと類似していると述べている研究³⁾が発表された。著者の一人は、このことを定量的に確かめるために、その第一段階として、一様流中の水面付近に設置された翼の背後の水面付近に生じる気泡を連行した砕波面から生じる乱れを、レーザードップラー流速計を用いて測定し、上述の turbulent shear layer との類似性を検討した⁴⁾。ここでは、つぎの段階として、ホットフィルム流速計を用いて、実験水槽内の一様勾配斜面上で砕ける規則波の、砕波点以浅での砕波による水平方向乱れを測定しようとした試みを報告する。

2. 測定装置および方法 測定は、京都大学工学部土木工学教室地下実験室の波浪水槽（長さ27m、高さ70cm、幅50cm）で行なわれた。斜面勾配(i)は1/30、一様水深部水深は30cmとした。ホットフィルム流速計は、DISA No. 55R61（プローブ）と55M01（アンプ）を用いた。このプローブはX型で2成分を検出しようタイプであるが、1成分のみ測定可能であったので、プローブを45°傾けて、フィルムが鉛直になるように設置した。同時に水位変動を測定するために、一様水深部、砕波点、流速測定点の3点に容量式波高計を設置した。流速計と波高計からの出力は、同時にデータレコーダに収録した。ホットフィルム流速計は、測定点を自由に移動させるために、水槽上を移動する台車に設置した。流速計の校正曲線を決定するために、静水状態で台車を種々の速度で移動させ、流速計からの出力を収録した。実験は巻き波と崩れ波の砕波型式に対応する2種類の沖波波形勾配(H_0/L_0)について行なった。各ケースとも、流速測定点は砕波点を含めて岸側に5点とり、各測定点ではプローブを波の谷の直下、底面から約1cm上、およびその中間の3点で測定した。流速計のキャリブレーションは各ケースの実験前に行なった。

3. 解析方法 ホットフィルム流速計による測定の前に、同様の条件で、プロペラ式流速計（プロペラ直径5mm）で、砕波点以浅の波による水平方向水粒子速度 U_w を測定した。その結果、 U_w 自体が一波毎に大きく変動していることがわかった。したがって、数多くの波について各位相での集合平均をとって乱れを定義する方法は、ここでは用いることができない。一方、水粒子速度が沖向きの場合には、プローブの形状から、プローブから発生する後流が測定結果に含まれ、乱れと分離できない。そのため、ここでは岸向き流速についての解析することにした。 U_w の変動が大きいため、同時に測定した流速測定点での水位変動記録の、水位が平均水面より高い位相の間で、流速が岸向きとは限らない。ここでは、水位が平均水面より高い位相の前後で、流速計の出力電圧が大きく落ち込む位相の間を、流速が岸向きの位相と考え、その間について解析することにした。ただし、このようにして位相範囲が抽出しうる波は多くなく、各測定点について10数波に限った。つぎに、抽出した位相範囲で、測定された水粒子速度の0.01sec 毎の値を移動平均（平均時間0.1sec）して得られたものを U_w とし、それからの偏差として乱れ u' を定義した。図-1はその一例である。乱れ強度は、その位相範囲での平均的な乱れ u'_m として、0.01sec 毎の u' の二乗平均 $\sqrt{\sum u'^2}$ をとり、それをその位相範囲での U_w の最大値 U_{wc} で割って求め

た。なお解析は、波の谷直下での測定に限った。

4. 結果と考察 結果を検討する前に、乱れ測定上の誤差を検討した。そのうち乱れ強度に関係するのは、移動平均を与えることによって生じる誤差で、最初のケース ($H_0/L_0 = 0.012$) では 0.05 程度、二つ目のケース ($H_0/L_0 = 0.048$) では 0.08 程度と推定できた。また測定記録にはプールの固有振動による変動が含ま

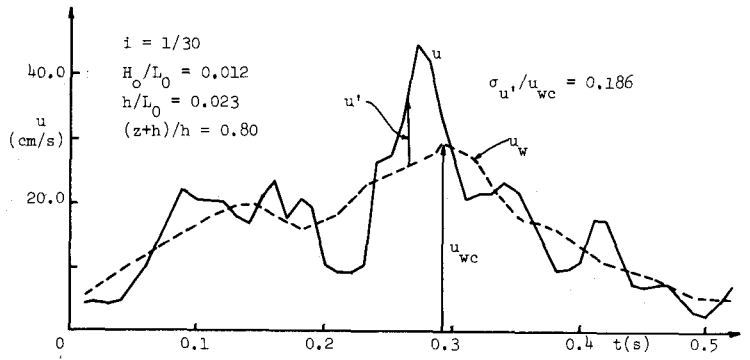


図-1 砕波点以浅の水平方向水粒子速度の時間変化の例

れていることがわかった。そこで乱れ強度を計算したすべての波について、図-1と同様の図を描き、プールの固有振動数と同程度の周波数の変動が含まれているかどうかを検討した。また流速計の出力記録の波形をも検討し、明らかに乱れが認められないケースを判定した。図-2 は、こうして得られた砕波点以浅における水平方向乱れ強度と水深沖波波長比との関係を示したものである。図中○印は、各測定点で一波毎に変動する値の平均値を示し、また同一測定点での最大値と最小値をもって、その変動の幅を示している。なお、図中↓印のついた測定点は、流速計の出力記録では、乱れの認められないことを示しており、計算値は上述の誤差によるものと考えられる。またそれ以外の測定点でも、その最小値付近の値の場合は、プールの固有振動数と同程度の周波数の変動しかなく、乱れは存在しているかもしれないが、プールの固有振動による変動と分離できない。

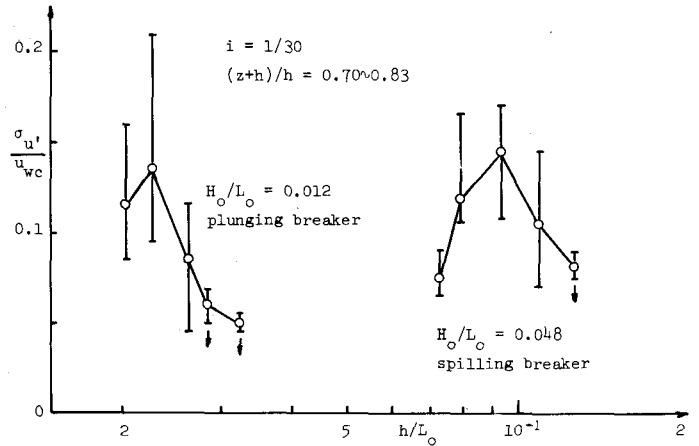


図-2 砕波点以浅における砕波による水平方向乱れの変化

ずれにせよ、巻き波と崩れ波に対応する二つのケースとも、砕波点以浅では乱れ強度は一度増加したのち減少している。なお、砕波によって水中に連行される気泡は、実験中の観察から、波の谷の高さ以下では少なく、測定結果にはほとんど影響がないと考えられるが、この問題は今後検討すべき点である。気泡がプールを通過する場合は、流速計の出力電圧の drop-out が生じるはずである。レーザードップラー流速計では、レーザービームを気泡が通過した場合、出力がその間その直前の出力値を保持するタイプ (track and hold operation) のものが、平均値や分散の計算には都合がよい。又、drop-out の効果を除いた真のスペクトルの計算も、drop-out の間、一定の電圧を発生する drop-out signal を同時に記録できれば、若干の仮定の下に可能である³⁾。

5. 参考文献 1) 例えば、Longuet-Higgins, M. S., *J. Geophys. Res.* Vol. 75, pp. 6778-6801, 1970、2) 例えば、堀川清司他、第26回海議論文集、pp. 46-50, 1979、3) Peregrine, D. H. and Svendsen, I. A., *Proc. 16th ICCE*, pp. 540-55, 1978、4) Battjes, J. A. and Sakai, T., *Abstract of 17th ICCE*, pp. 370-371, 1980、5) Battjes, J. A. and Sakai, T., 投稿準備中。

なお、この研究の一部は、文部省科学研究費自然災害特別研究(1)(岩垣雄一教授代表)によることを付記する