

不規則波の水粒子速度に関する実験的研究

京都大学工学部	正 員	岩垣雄一
京都大学工学部	正 員	酒井哲郎
京都大学大学院	学生員	○ 石田 啓
京都大学大学院		中村誠え

1. まえがき 波の場の水粒子速度は、海岸工学上の諸問題に対して、本質的な役割を演じているが、従来の研究は規則波を対象としたものが多く、現地波浪が不規則であることから、今後は不規則波の水粒子速度を系統的に研究し、その特性を明確にする必要がある。そのため、本研究では、規則波、合成波を含めて種々の不規則波を実験水槽内で発生させ、これらの水粒子速度を超音波流速計を用いて実測し、水面変動との対応をスペクトルおよび周波数応答関数によって考察するとともに、合成波および不規則波の水粒子速度の時間変化を、同時の水面変動から算出する方法を確立する。ここでは主として、不規則波について述べることにする。

2. 実験装置および方法 実験は、京都大学工学部土木工学科地下実験室に設置された幅50cm高さ70cm長さ27mの実験水槽を用いた。水槽の一端には不規則波発生機が設置されており、この造波板の前方8mの位置に超音波流速計の実験水槽用プローブと波高計を設置し、他端に勾配1/3の消波工を設けた。ここで用いた流速計は、ドップラー効果により、速度変化が周波数変化に変わる臭を利用し、これを電圧変化に変えて速度を測定するもので、電氣的検定、定速および動的キャリブレーションをおこなった結果から、速度と出力電圧との関係を与える較正直線を決定した。水深は、終始45cmに固定し、水粒子速度の測定臭は、不規則波の場合、水面下水深の10%、20%、30%の3臭を選び、合計20ケースの実験をおこなったが、これらの記録はすべてデーターレコーダーによって記録し、AD変換機を用いて0.08sec間隔でデジタル化した。

3. 解析方法 水面変動 η と水平および鉛直方向水粒子速度 u , w のパワースペクトル S_η , S_u , S_w は、80sec間の同時記録から、Blackman-Tukeyの方法で計算した。また η に対する u , w の周波数応答関数 R_u , R_w は、微小振幅波理論により(1)式、(2)式で表わされ、実測値は(3)式、(4)式から計算できる。

$$R_u(\omega) = \omega \cdot \cosh k(h+z) / \sinh kh \quad (1)$$

$$R_w(\omega) = \omega \cdot \sinh k(h+z) / \sinh kh \quad (2)$$

$$R_u(\omega) = \sqrt{S_u(\omega) / S_\eta(\omega)} \quad (3)$$

$$R_w(\omega) = \sqrt{S_w(\omega) / S_\eta(\omega)} \quad (4)$$

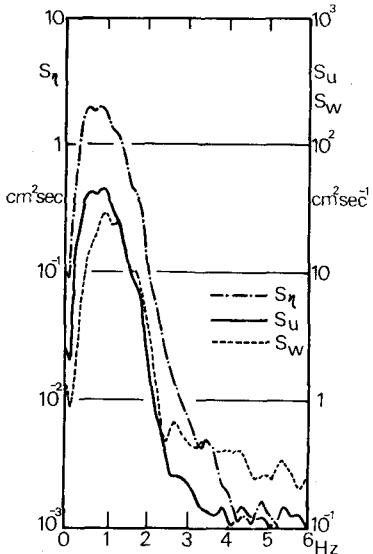
ただし、 ω は角周波数、 k は波数、 h は水深、 z は上向きを正とした鉛直座標を示す。 u の時間変化は、 R_u のフーリエ係数 a_n からなる(5)式で与えられる線型フィルターにより、同時の η の時間変化から算出できることをReid¹⁾が提案して以来すでに15年になるが、従来不規則波による水粒子速度の時間変化を正確に測定できる流速計がなかったため、この方法の妥当性はまったく検討されないままであった。ここでこの方法の妥当性を検討してみる。

$$G_s[\eta(t)] = a_0 \eta(t) + \sum_{n=1}^N a_n [\eta(t+nt) + \eta(t-nt)] \quad (5)$$

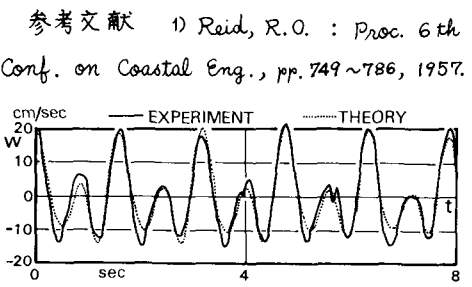
4. 実験結果および考察 解析した20ケースのうち代表的な結果を与える1ケースを例にとり、図1から図4に示す。このケースは、造波板の運動が0.5Hzから2Hzまでの振動

数を含むように制御したものであり、水粒子速度の測定点は水面下 9 cm である。〔図・1〕のパワースペクトルでは、 S_η のパワーが大きい周波数領域では、 S_η , S_u , S_w は明確に対応しているが、1.5 Hz 以上では、 S_w が S_u より大きくなり、これらの傾向は全ケースについて同様であった。しかし周波数が 2 Hz 以上になると、流速計の信頼度も徐々に低下し、流速計の雑音と実際の u , w のパワーとの分離が困難であるため、現在のところでは u , w の高周波数成分の特性は議論できない。〔図・2〕, 〔図・3〕の周波数応答関数は、 R_u , R_w とともに 1.5 Hz 近くまでは実測値と理論値が極めて良く一致しており、1.5 Hz 以上では実測値の方が相当大きくなる。〔図・4〕は、 u の実測値と Reid の方法による計算値とを比較したもので、山と谷の部分を除いて、両者はほぼ一致しており、他のケースも同様であった。〔図・5〕は、合成波の w の実測値と計算値を比較した 1 例であり、計算方法は、 η の卓越した成分波を微小振幅波とみなして重ね合わせる方法を用いたが、負の部分（上向き速度）では実測値の方が大きいことがわかる。

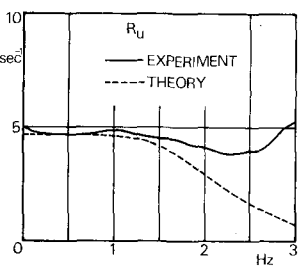
全ケースの結果を総合すると、水面近くの不規則波の水粒子速度は、スペクトルの形が異なっても、大部分のパワーを有する周波数領域では線型理論とほぼ一致し、成分波が微小振幅波理論の関係を満たしていると言える。したがって、時間記録でも Reid の線型フィルターが良い近似を与えるわけであるが、ピーク部分で実測値が大きくなるケースもいくつかあり、これは周波数応答関数において高周波数領域で実測値が大きくなることと関係が深いと思われるので、流速計の精度を上げることが必要である。



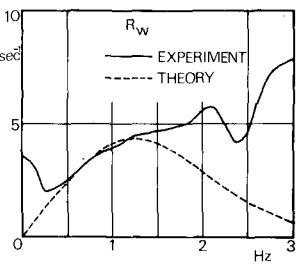
図・1 η, u, w のパワースペクトル



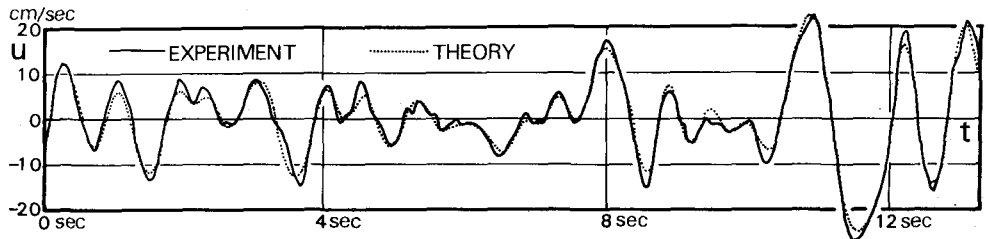
図・5 w の時間変化 (合成波)



図・2 u の周波数応答関数



図・3 w の周波数応答関数



図・4 u の時間変化