212 水中で撮影された水面透過映像からの波高測定

—観測面深さが比較的深い場合—

明石工業高等専門学校 檀 和秀○, 荒巻 正博

Wave Height Measurement by Analyzing the Image Data of the Water Surface Observed in the Water

— It is deep at the observation point compared with the wave length and the wave height —

Kazuhide Dan*, Masahiro Aramaki*

We show the results obtained by analyzing the image data of the water surface observed in the water in order to measure the wave heights distribution in a plane. We consider about the relationships between the wave heights measured by a wave meter and the brightness (AD converted values, such as R,G and B values). The light source is the natural lights.

1. はじめに

水表面で光が屈折することを利用して波高を測定することができる。鈴木等^{1), 2)}は水中からの平行光源あるいは点光源に対して、水面で屈折した光情報を水面近くの観測面で記録し、明暗分布が波形の2階微分で近似できることを利用し、得られた明暗分布から波形を直接得る方法を示している。観測面が遠く離れると補正項が必要になる。平行光源の場合は屈折角を小としない理論展開が望まれ、また点光源の場合は点光源から遠く離れると屈折角が小さくならないように思われる。一方著者等³⁾は自然光が水表面に入射するとき、屈折光は波の山の下で明るく谷の下で暗くなることから、水底面にガラスを敷き観測面とし、規則波の場合についてその明暗模様と波の諸量との関係を重回帰分析で関係づけた。この場合も観測面(ガラス面)の設置水深 h_G は波長に比べて0.5程度と比較的小さかった。今回は観測面をガラス平面とせずにCCDカメラを水中に比較的深く(対波長比3倍程度、対波高比2.5倍程度)設置して水面映像を記録した。この自然光を光源とした水中で得られた光情報と波高の関連性について実験的に考察した。

2. 波長(L)に対する観測面水深(h_G , h_C)の関係

水中から波面を観測するとき、前報³⁾ではすりガラス面を介して波長Lに比べてすりガラス面設置水深 h_G が浅い場合を対象とした。水底にすりガラスを設置して、水表面で屈折された光がつくる模様をすりガラスに映し、それをビデオに記録した。規則波の場合の重回帰分析によれば、波形勾配(H/L)は最大輝度と最小輝度の差、および平均輝度より明るい点の数に関係した。波面の情報を記録する場所が水深(h_G)5cm程度であり、波

* Akashi College of Technology, Uozumi 679-3, Akashi, Hyogo 674, Japan

長が 10 cm 程度に比べて水深波長比 h_c/L が 1/2 程度、波高 (H) が 1 cm 程度に比べて水深波高比 h_c/H が 5 程度の深さでの記録であった。このガラス面を途中に介する方法は実験には適しているが、実用向きではない。今回は実験水槽の底に CCD カメラ (SONY XC-999, VCL-03S12XM:3.5mm) を設置している。カメラ設置水深 (h_c) が 80 cm。波高の観測領域は水面で直径約 1 m の範囲である。波長が 20 ~ 30 cm であるので水深波長比 (h_c/L) は 3 程度となる。波高が 3 cm であるので水深波高比 (h_c/H) は 2.7 程度となる。

3. 実験

3. 1 実験装置

Fig. 1 Experimental apparatus (unit:mm)

実験装置の概略を図-1に示す。

3. 2 実験方法

静水面の状態から波を起こしはじめ、カメラで水面画像を記録する。同時に検定用としてサーボ式波高計でもある 1 点での波高を記録する。得られた画像をデジタイジングボードを用いて R、G、B 各成分 8 ビットに AD 変換する。また R、G、B 各成分を同じ比率で加えた輝度を M としている。1 フレームは 256×200 画素に分割される。水深 h は 80 cm。周期は 0.42 秒としている。

測定時の条件として天候が考えられるが、今回はとりあえず晴天時の午前 9 時、12 時 15 時の 3 種類と曇天時の 12 時を記録しどう違うかを調べた。

4. 結果と考察

静水面状態での輝度をはじめ、すべての状態にゆらぎがみられた。ゆらぎの大きさは 2% ($5/256$) 程度である。空からの自然光は水を透過してくるため、晴天時の画像は全体にわたって青みがかった。一方曇天時の画像は全体に白っぽく映る。

4. 1 静水面画像

静水面画像の 1 例を図-2に示す。これらはそれぞれ晴天時の午後 3 時と午前 9 時の場合である。横軸は波の進行方向に画素番号をとっている。縦軸は AD 変換された値である。図の上段に M 値、下段に R、G、B 別の輝度分布を示す。図-2 (b) から $B > G > R$ であることがわかる。M、G 値に関しては輝度値に右下がりの傾斜がみられる。これは図-2 の右側に太陽があることに関係していると思われる。午前 9 時の映像からは逆に右上が

りの傾斜が確認できた。実験装置の壁が光を遮っているからだと考える。壁がなければこのようにはならず、ほぼ一樣になると思われる。傾斜傾向はR成分にも少しであるが認められる。今回静水面、波動面ともにすべての画像にイエスであるが、B成分がほとんどの場所でピーク値(255)に達しておりB成分の情報が得られていないことである。レンズの絞りを最大にしたのであるがこのような結果になってしまった。したがってR、G成分について主に考察する。

Fig. 2 Image of the water surface in quiet and in regular waves at 3 p.m. and 9 a.m. .

4. 2 波動画像

規則波を発生させた映像についてもすべて $B > G > R$ という結果になった。M値の分布をみれば輝度値の傾斜傾向を中心に波動を描いているのが確認できる。

図-2の静水面状態の輝度分布については傾斜傾向の勾配はほぼ一樣である。波動面の

輝度値に変化が生じる原因としては、波が生じて光の水中伝播距離に変化が生じ吸収の影響による差が出たこと、波が生じて水面での屈折光の進行方向に変化が生じたこと、また光の波長によって屈折率が変化することなどが考えられる。図-2 (a) の輝度値の波形からみればG値はR値に比べて波高との相関が高いのではないかと考える。G値のみで静水面と波動面を比較すれば、壁付近(図では左右)を除いて、波動を捉えているように思われる。このことから波長による屈折率の変化がRとGの差に影響したとは考えにくい。いずれにしても波が原因であるから輝度分布と波高の関係を以下のように調べる。

波動時の輝度から静水面時の輝度を差し引いてその差が波高に関係すると考え、Mについて最大輝度値と最少輝度値の差をサーボ式波高計の波高で検定した波高が図-3である。横軸は図-2と同じ、縦軸には波高計で検定した波高をとっている。これにはゆらぎを含めた輝度値の差を計算に入れており、実際は変動のほぼ中央の値を用いて計算した方がよいと思われる。ほぼ規則波の傾向をみることはできるが、図-3で横軸の値が200に近い部分(右側部分)では波高が小さくでている。これは壁の遮蔽作用の影響だと思われる。

Fig.3 Measured wave heights distribution in a wave directional line

Fig. 4 Wave heights measured by a wave meter

5. 結論

水中で観測される自然光による水面画像を記録し、規則波に対して画像の輝度値と波高との関係について考察した。R値よりもG値に波形との相関が高いことがわかった。この相関を利用して波高を推定してみた。ただ輝度値のゆらぎの情報光に対する比率が比較的大きいことなどの問題が残されている。今回使用した計測機器のB値が上限を越えていて、波動信号を測定できていなかったことも今後改善したいと考えている。

本研究に際し御指導を賜った(株)ニュージェック顧問笹源亮先生に御礼申し上げます。

参考文献

1. 鈴木敏夫・住野和哉：水面透過光の明暗分布を利用した波高計測、関西造船協会誌、第220号、pp.105～110、1993.
2. 鈴木敏夫・住野和哉：水面透過光の明暗分布を利用した波高計測 ー第2報：点光源による方法への拡張ー、可視化情報、Vol.13, Suppl. No.1, pp.241～244、1993.
3. 檀和秀・八木典昭・笹源亮：水中から観測した波面の画像処理による波高計測(回折波領域の計測)、可視化情報、Vol.13, Suppl. No.1, pp.233～236、1993.