

明石工業高等専門学校 学生会員 ○本田 隆英

明石工業高等専門学校 正会員 檀 和秀

1. はじめに

自然光が波面に入射すると、光は水面で回折・屈折する。水中を透過した光は水底において明暗分布を形成し、これをビデオカメラにより記録する。入射光を一様鉛直入射と仮定した場合に、この現象に回折理論とスネルの屈折法則を適用して水底での光の強度分布を計算した。これを模型実験結果と比較検討し、妥当な結果が得られるための光の波長、開口分割幅、分割数、分割波面と観測点の距離間の条件について考察を加えた。

2. 実験方法

実験は水深 $d=5\text{cm}$ 、波高 $H=1.5\text{cm}$ の水面波で行う。静水面の状態からフラップ式造波機で波を起こしはじめ、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波高を測定する。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 6 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。

3. 光の回折理論による光強度分布

無限遠に存在する点光源(太陽)から発生する光は、平行入射光として水面で回折・屈折し、水底での複素振幅 $U(P)$ は Fresnel-Kirchhoff の回折公式(1)で、強度 $I(P)$ は(2)式で表される。これらの式は水面波形を細かく分割した分割波面について適用し、屈折の影響については角度 θ を図 1 のように計算している。屈折角 θ_r は分割波面の傾き(入射角) θ_i から、(3)式のスネルの法則により求められる。屈折率 n は 1.33 を用いている。

$$U(P) = \frac{i A}{2 \lambda} \frac{e^{i k r'}}{r'} \iint_a \frac{e^{i k r}}{r} (1 + \cos \theta) d s \cdots \cdots (1)$$

$$I(P) = U(P) U(P)^* \cdots \cdots (2)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = n \cdots \cdots (3)$$

ここで、 λ は光波の波長、 k は光波の波数($=2\pi/\lambda$)、 r' は点光源と分割波面の距離、 r は分割波面と P 点の距離、 $U(P)^*$ は $U(P)$ の共役複素数を示す。

4. 計算結果

水面波に光が入射したときの水底での比強度分布(観測領域は 1 波長)の計算結果を図 2 に、またそのときに用いた変数値を表 1 に示す。原点での強度を 1 としている。強度分布を求める過程で次のようなことが分かった。

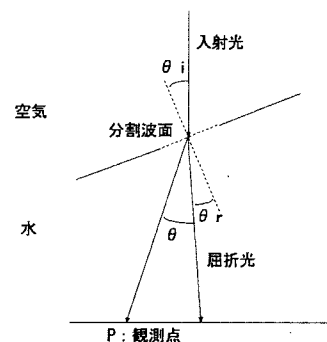


図 1 屈折を考慮した θ

Takahide Honda, Kazuhide Dan

1) 水面波の山の下では明るく、谷の下では暗い。水面波の水深波長比(d/L)が0.4と3.5で同じことが言えた。水面波の波長は L とする。

2) 光の波長 λ として $10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4} \text{m}$ と変えても分割波面幅との比 a/λ が一定の条件下では比強度分布は変わらない。

3) 光の波長 λ に対して分割波面と観測点の距離 r の変化量は、指数項 e^{ikr} が振動しない程度に小さくする必要がある。

4) a/λ を大にすると分割波面の分割数 n も大にする必要がある。 n が不十分だと分布形は振動する。

5) 回折積分公式を導く上で分割波面幅(開口幅 a)は波長 λ に対して十分大きいことが必要であるが、 a/λ が1あるいは0.1でも妥当な強度分布が得られた。

5. 実験結果との比較

実験データは図3の通りで、上図は水底のカメラが捕らえた水面画像、下図は水面画像を処理した輝度分布を示す。輝度分布について、右端で大きく振動しているのは画像右下に表示されている数字が原因である。また水底には水面波の波長を測定するための網目模様を描いているため、結果として輝度分布には所々に輝度が低い部分がある。この輝度分布に計算結果を重ね合わせると、波の山を中心として左側ではほぼ一致しているといえるが、山の右側では実験により観測した輝度は計算結果に比べて低い。この原因としては、実験の際に光は水面に対して一様に鉛直方向へ平行入射しておらず、光は波の左側から斜めに入射しているためであると考えられる。

6. 結論

光の入射条件の影響はあるものの、明暗分布の実験結果と計算結果はほぼ一致していることが確認できた。

最後に、ご指導を賜った(株)ニュージェック顧問笹源亮先生に感謝申し上げます。

参考文献

1) 檀和秀, 荒巻正博: 水中で撮影された水面透過映像からの波高測定、可視化情報 Vol.16, Suppl., p.p.143~146、1996。

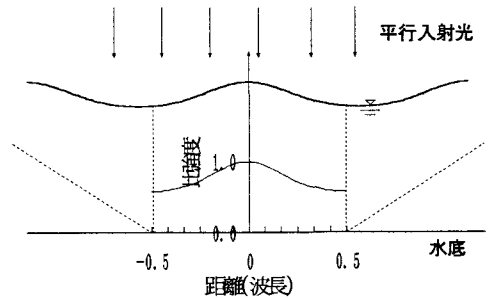


図2 計算結果

表1 強度計算に用いた変数値

水深 $d(\text{cm})$	5
波長 $\lambda(\text{cm})$	0.1
分割波面幅 $a(\text{cm})$	0.1
a/λ	1
分割数 n	15
水面波の計算領域($\times$ 波長)	3

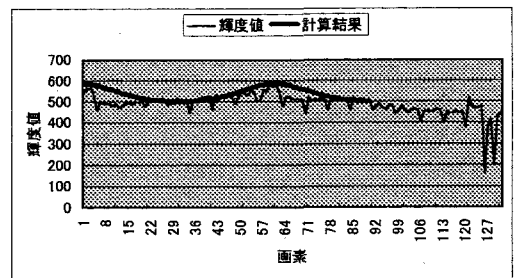
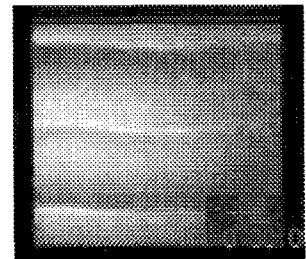


図3 輝度分布