

明石工業高等専門学校 正会員 檀 和秀
 明石工業高等専門学校 学生会員 大月 一真

1. はじめに

波高計としては実験室レベルではサーボ式、抵抗線式、容量式波高計などが、また現地海岸では超音波式波高計などが使用されている。これらはある 1 点での波高情報を時間変化として記録することができる。同時に多数点での波高情報を得ようとする多数の波高計を必要としていた。著者らは自然光が波面に入射・屈折した後、水底に設置しておいたカメラに記録される輝度分布から波高情報を得ようとしている。

自然光が波面に入射すると、光は水面で屈折・回折を生じる。水中を透過した光は水底において明暗分布を形成する。入射光を一樣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を計算した。この計算をするにあたって、妥当な結果が得られるための光の波長、開口幅、その分割数、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. 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屈折・回折し、水底での任意の点 P における複素振幅 $U(P)$ は Fresnel-Kirchhoff の回折公式（1）で、光強度 $I(P)$ は式（2）で表される。これらの式を、水面波形を細かく分割した分割波面について適用している。

また、直進すると考えた光については、空気中から水面に入るとき屈折を生じる。式（1）中の角度 θ は図-1 のようになる。光が水面上の 1 点に入射したと仮定したときに、その入射した点における水面の接平面の法線ベクトルが算出され、この法線ベクトルと直進する光の入射方向、屈折方向とのなす角をそれぞれ入射角 θ_i 、屈折角 θ_r としている。屈折角 θ_r は分割波面の傾き（入射角） θ_i から、式（3）のスネルの法則により求められる。空気中から水へ進行する光の場合、屈折率 n は 1.33 とする。

$$U(P) = \frac{iA}{2\lambda} \frac{\exp(ikr')}{r'} \iint_a \frac{\exp(ikr)}{r} (1 + \cos \theta) ds \dots \dots (1)$$

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

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

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との距離、 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。

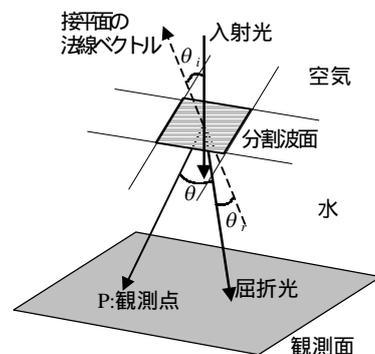


図-1 屈折を考慮した θ

3. 計算結果

仮定した水面形状は図-2 に示す通りの規則的な波である。分割波面幅とその分割数を図-3 に示す。水面波に光が鉛直入射したときの、水底での光強度分布（観測領域は 2 波長）の計算結果を図-4 に、またそのときに用いた変数値を表-1 に示す。ここでは観測面内の強度分布形状について考察する。強度分布を求める過程で次のようなことがわかった。

- (1) 水面波の山の下で明るく、谷の下では暗い。水面波の水深波長比 (h/L) が 0.5 と 10.0 で同じことが言えた。ここで観測面の水深は h 、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} 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光強度分布の形状は変わらない。

キーワード：波高計、回折積分、スネルの法則、可視化計測

連絡先：〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3 TEL：078-946-6171 FAX：078-946-6184

- (3) 分割波面幅 a を積分計算するにあたっての分割数 n で割った幅 a/n が、光の波長 λ に対して小さいと理想的な回折光強度分布が得られる。理想的な光強度分布とは、1つのスリットに光を鉛直入射させたときに、スリットの下でもっとも光強度が大きく全体に振動の小さい分布形状である。
- (4) 回折光が及ぼす影響範囲は観測面の水深により変化する。最も大きな光強度値に対して $1/100$ 以下の強度値であれば無視できるものと仮定すると、必要な計算領域($x/L, y/L$)は水深波長比 h/L の1倍以上である。例えば、水深波長比 h/L が10であれば必要計算領域は10波長以上である。

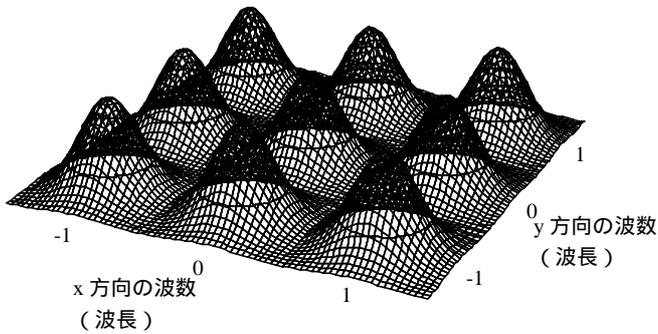


図-2 仮定した水面形状

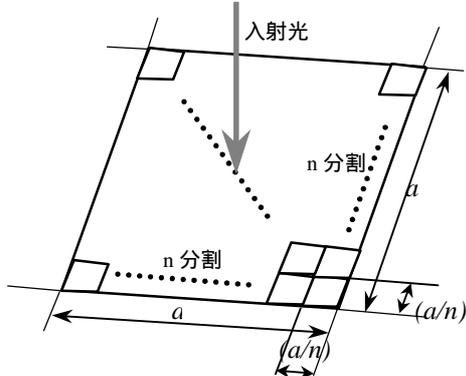


図-3 分割波面幅 a とその分割数 n
(a) $h/L=0.5$

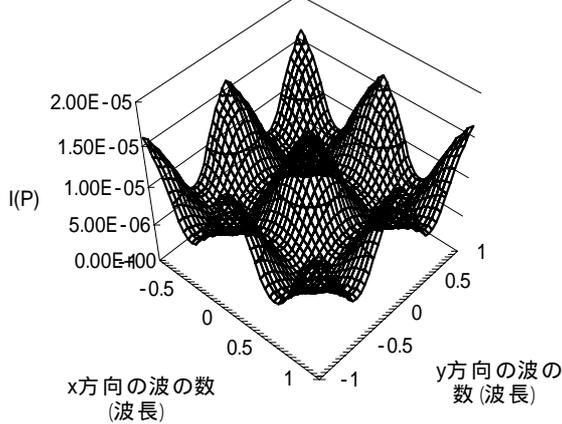


表-1 光強度計算に用いた変数値

水深 h (cm)	5.0	100.
水面波の波長 L (cm)	10.	10.
光の波長 λ (cm)	0.2	0.5
分割波面幅 a (cm)	0.2	0.5
積分計算の分割数 n	5	5
$(a/n)/\lambda$	0.2	0.2
水面波計算領域 (\times 波長)	3.0	10.

表-2 水面形状の特性値

波長 L	10 (cm)
波高 H	0.159 (cm)
波形勾配 H/L	0.016
備考:	x, y 方向とも同一形状

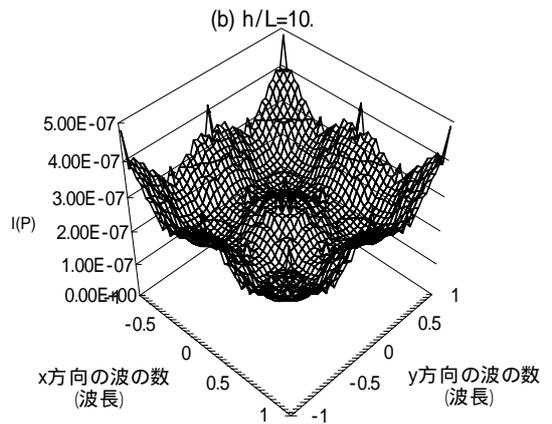


図-4 光強度 (輝度) 分布

4. おわりに

水底で観測される波面透過後の光強度計算を行い、妥当な結果が得られる条件について検討した。今後は水底に設置したカメラに記録される映像の数値計算を行い、実測波浪の映像と比較検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 本田隆英・檀和秀：水底で観測された波面透過後の光強度分布について，平成11年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要， -89-1~2, 1999.