

明石工業高等専門学校 専攻科 建築・都市システム工学専攻 学生会員 ○岸 篤史
 明石工業高等専門学校 都市システム工学科 正 会 員 檀 和秀
 明石工業高等専門学校 都市システム工学科 正 会 員 中村 文則

1. はじめに

水路の水面や海面に生じる波を計測する場合、現状では波高計を用いた点計測が主流である。面的に波高を測定するためには多数台の波高計が必要となる。一方、自然光が波面に入射すると自然光は屈折し、水底下で波面に対応した明暗模様をつくる。本研究はこの明暗模様を解析することで面的な波形計測の実現を目的とする。実験用のアクリル水槽下に白い観測板を設置し、ビデオカメラで観測板に映る明暗模様を撮影して解析した。今回は波の波長を変えた場合やアクリル水槽と観測板間で自然光が交差した場合の精度について考察を行った。

2. 自然光を利用した面的波高測定

自然光が水面を通過してアクリル水槽下の白い観測板に生じさせる明暗模様を鈴木・住野の方法で解析し波形を面的に求めることが目的としている¹⁾。本手法は手軽で費用や労力をあまり必要としない面的波高測定法といえる。

図1の波形 $\zeta(x)$ は式(2.1)によって表される。式(2.1)は光が鉛直入射のときの一次元的な波高測定式である。 \mathcal{F} はフーリエ変換、 \mathcal{F}^{-1} はフーリエ逆変換を表す。

$$\zeta(x) = \mathcal{F}^{-1} \left[\frac{\mathcal{F}[c(x) - E(x)]}{E(x)(1 - \frac{1}{n_1})(h + \frac{l}{n_2} + \frac{d}{n_2 n_3})} \cdot \frac{1}{\omega^2} \right] \quad (2.1)$$

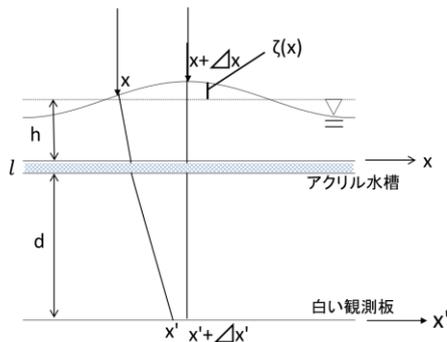


図1 屈折した自然光の挙動

ここに E(x): 観測板上での波発生時の輝度
 c(x): 波がない時の輝度

- ω : 空間周波数 (1/cm)
- n_1 : 空気と水の屈折率 (=1.33)
- n_2 : 水とアクリル水槽の屈折率(=1.12)
- n_3 : アクリル水槽と空気の屈折率(=0.67)
- h: 水深(cm)
- l: アクリル水槽の厚み(=0.5cm)
- d: アクリル水槽と観測板の距離(cm)

また、式(2.1)を2次元に拡張すると式(2.2)となる。水平面内にx軸、y軸をとり、観測面内にx'軸、y'軸をとる。

$$\zeta(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \left[\frac{\mathcal{F}[c(x, y) - E(x, y)]}{E(x, y)(1 - \frac{1}{n_1})(h + \frac{l}{n_2} + \frac{d}{n_2 n_3})} \cdot \frac{1}{\omega_x^2 + \omega_y^2} \right] \quad (2.2)$$

式(2.2)は微小面積 $\Delta x \Delta y$ に鉛直入射する光は観測板上の微小面積 $\Delta x' \Delta y'$ へ進むから $c(x) \Delta x \Delta y$ と $E(x) \Delta x' \Delta y'$ が等しいことを利用している。また、入射する自然光が観測板に到達するまでに交差しないことを前提としている。

3. 実験方法

実験にはアクリル製の模型水槽(5400×200×150mm)を用いた(図2)。太陽に向かって波が進行するように水槽の方向を変え、水路を水平に調整する。波は規則波を発生させる。

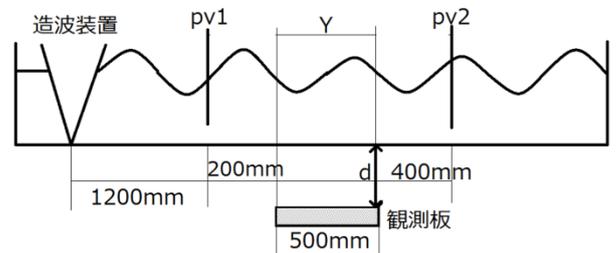


図2 実験装置

波の無い状態と波を発生させた状態において、白い観測板に映る映像を斜め上方からビデオカメラで撮影し、同時に横方向から波形も撮影する(映像幅: 10×50cm)。また、容量式波高計を設置して波高を測定する。

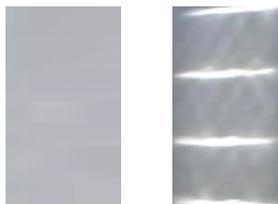
4. 結果と考察

アクリル水槽と白い観測板間の距離を変化させることで今回の実験結果から得られた波高の精度がどのように変化するかを考察する。水槽と観測板の距離は8~26cmで変化させている。

以下に今回の実験結果を示す。ここに X は x' 軸上の壁面からの距離である。図 3 は解析した明暗画像、図 4 は解析によって得られた波形、図 5 は X=5cm での解析波形断面図である。また表 1 は波長 14.3cm、d=8cm の結果、表 2 は波長 14.3cm、d=26cm の結果、表 3 は波長 47.2cm、d=26cm の結果を示している。相対誤差は波高計で得られた波高と解析波高の差を波高計で得られた波高で除した値である。

表 1 実験結果 (波長=14.3cm, d=8cm)

水深	10cm	波長	14.3cm
d	8cm	波高計	0.87cm
天候	晴れ	波形勾配	0.061
太陽高度	42°	解析波高	0.56cm
周期	0.31sec	相対誤差	36.1%



(a) 静水面 (b) 波発生時

図 3 観測された解析画像

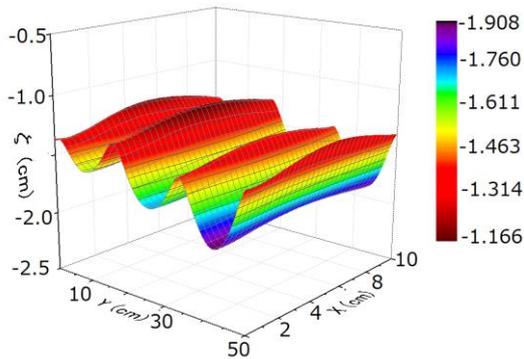


図 4 解析波形

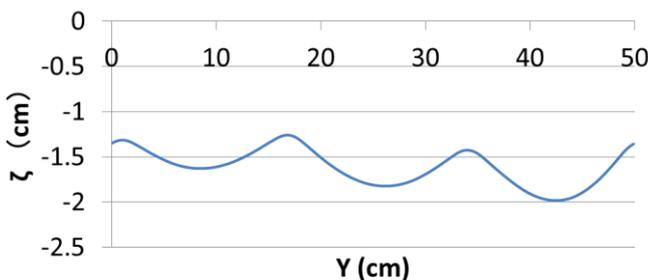


図 5 X=5 での解析波形

同じ波で実験を行った場合、d を大きくすると誤差が増大することがわかった (表 1、表 2)。しかし表 3 の波では d が 26cm であっても誤差は表 2 ほど大きくない。

表 2 実験結果 (波長=14.3cm, d=26cm)

水深	10cm	波長	14.3cm
d	26cm	波高計	0.87cm
天候	晴れ	波形勾配	0.061
太陽高度	42°	解析波高	0.29cm
周期	0.31sec	相対誤差	67.2%

表 3 実験結果 (波長=47.2cm, d=26cm)

水深	10cm	波長	47.2cm
d	26cm	波高計	1.68cm
天候	晴れ	波形勾配	0.036
太陽高度	42°	解析波高	1.33cm
周期	0.61sec	相対誤差	21.1%

表 1、2 の波と表 3 の波に対して光が鉛直に入射するとして屈折シミュレーションを行うと表 1、2 の波は d=10cm 付近で光が交差しており、表 3 の波については d が 26cm までの範囲では光が交差していないことが分かった (図 6)。よって、屈折した光が観測板到達前に交差することで式 (2.2) によって求められる波高の誤差が大きくなると考えられる。

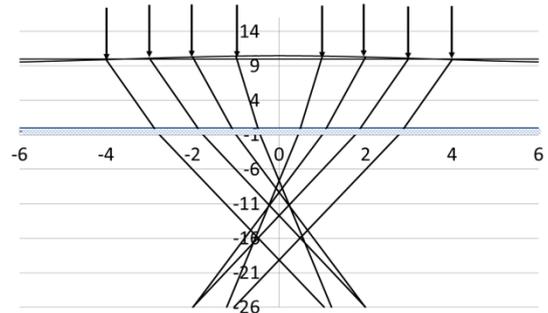


図 6 波長=14.3cm における屈折光のシミュレーション

表 4 シミュレーション結果

波	波長	波高	波形勾配	交差位置
1	14.3cm	0.87cm	0.061	d=10cm
2	47.2cm	1.68cm	0.036	d=26cm 以上

5. おわりに

屈折した自然光が観測板に到達する前に交差することで精度が極端に低下することが分かった。今後は観測板到達前に屈折光が交差した場合の対処や精度の向上ができるよう実験を継続していく予定である。

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面的波高計測，関西造船協会，第 220 号 (1993)，pp.105-110.