

モアレ写真による水面波形の解析

東京大学大学院 学生会員。朝倉堅五

波動のように刻一刻変化する水面に対して、ある瞬間の平面的な水位分布を定量的に把握することは困難である。最近では立体写真による波高観測も行われているが精度は高い反面、撮影や図化の経費が高く簡単には利用できない。立体写真の他にも *starry stay* 法、透過光法、*Nagypic endoscope*、金網法などが平面的な水位変動の観測に用いられているが、各瞬間の等水位線が直接目視でき、装置、撮影、図化が容易である点では、以下に述べるエアレ写真法が最もすぐれている。ここでは、エアレ写真法によって水位分布を測定した結果を二、三紹介し、残された問題点や今後の可能性について若く述べることにする。

に、今回使用したモアレ網系には、糸方向および目と直角方向に3本の太い線が15cm間隔に張られている。これは写真の歪を修正する目的と、モアレ縞の等高線の高度スケールの役目を兼っている。この太糸と目影から各モアレ縞の次数を求めることができる(詳細は松平の論文参照)。モアレ写真により等水位線を観察するためには、水面上にモアレ網の影を映さなければならぬ。このために市販の白色ホスターカラーを用い、体積濃度1%の割合で水に溶かし水槽全体の水を透明にした。

図-2は実験装置の概要である。実験に用いたリッポルタンクは600×120×15cmの小型平面水槽で、ランジヤ式逆波機により周期0.3~3.0秒の波を起すことができる。本実験とは関係ないが、リッポルタンクの底は一部がガラス張りになっており、下から光をあてることにより水槽上部のスクリーンに水面の影を映すことも可能である。モアレ写真用の光源はできるだけ点光源で、しかも光量が大いことが必要なので映写機用ランプ(100V, 1KW, 2灯)を用いた。撮影には35ミリカメラ(Nikon F; F1.2, 55mm), フィルムは感度と粒子密度を勘案してKodak PLUS-X (ASA 125)を用い、絞りF5.6, 露出時間1/125秒の条件で撮影した。カメラ・光源距離, 光源・カメラモアレ網間距離などは図-2に示してある。

3. 円柱の周りの回折波

モアレ写真による水面解析の例として、直立円柱周囲の回折散乱波をとりあげた。水深は9.9cmで円柱の径は9.9cmと16.5cmの2種類である。撮影されたモアレ縞の例が写真a~dに示されている。明暗の縞模様は明瞭に識別できる。写真中央にみえるのは円柱で、上面に凹凸があるためにこの部分にもモアレ縞が現れている。入射波は写真の左から右に進行しており、ほぼ上下対称な水面形が得られている。写真上のモアレ縞の白い帯をトレースしたのが図-3(a)~(d)の破線で、各帯の次数が数字で示してある。これをもとに0.5mm間隔の等水位線をかくと図中の実線が得られ、数字は静水面からの水位 (mm) である。一方, MacCamy³⁾が得た速度ポテンシャルから、円柱周囲の回折波の各点の水位 $\zeta(r, \theta; t)$ を求めると、入射波を $\zeta_0 e^{i(kx - \omega t)}$ として次のように表示できる。 a は円柱の半径。

$$\zeta/\zeta_0 = e^{-i\omega t} \sum_{m=0}^{\infty} E_m \cos m\theta [J_m(kr) - J_m(ka)/H_m^{(1)}(ka) \cdot H_m^{(1)}(kr)], \quad E_m = 1 \quad (m=0), \quad 2i^{-m} \quad (m \geq 1)$$

各ケースに対応した等水位線の理論値は図-4(a)~(d)に示されている。等水位線の形状、水位の値は理論値と実測値とかなり良い一致をみせている。完全には一致しない理由として、(1)理論は非粘性

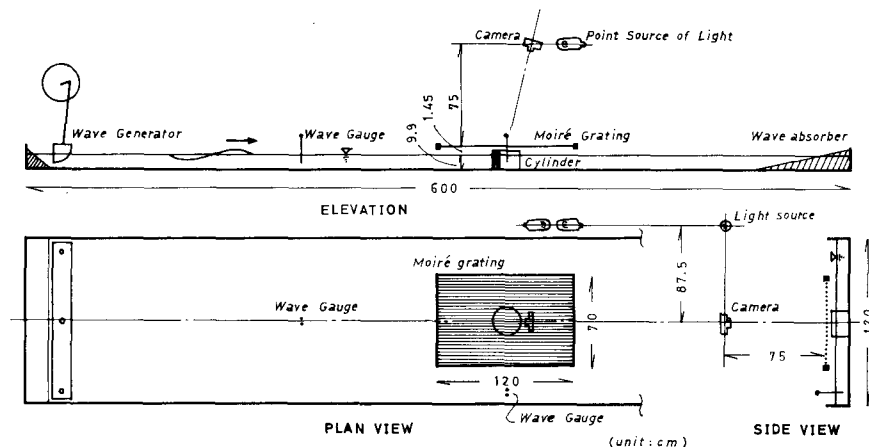


図-2
実験装置
の概要

3) MacCamy, R. C. & R. A. Fuchs: Wave forces on piles; a diffraction theory, B. E. B. Tech. Memo. No. 69, p. 17, 1954.

微小振幅と仮定していること、2) 理論値と位相 10° ほどに計算したことによる位相の不一致、3) モアレ調作成上および水平固定上の誤差、4) 反射波および側壁の影響、5) 斜め写真を偏正修正する際の誤差、6) モアレ縞中心線の読取誤差、等が考えられる。今回の対象はモアレ写真の精度を調べる上では必ずしも適切な例ではなかったため、より直接的な手法で誤差の検討をすることがある。

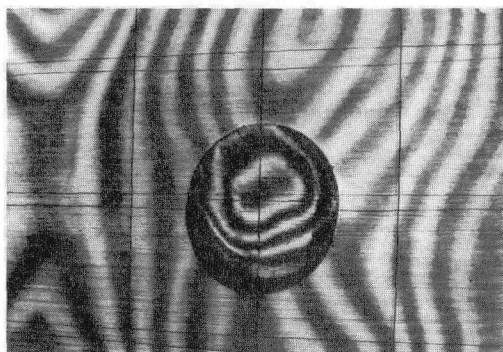


写真-2 水面のモアレ写真 (Case 1)

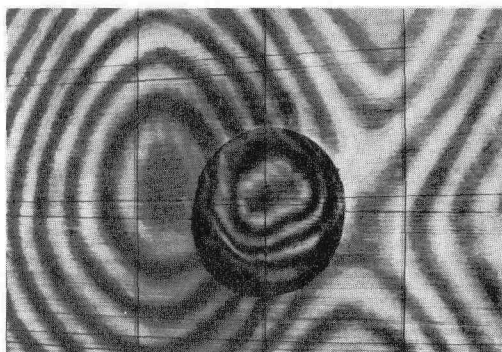


写真-2 水面のモアレ写真 (Case 2)

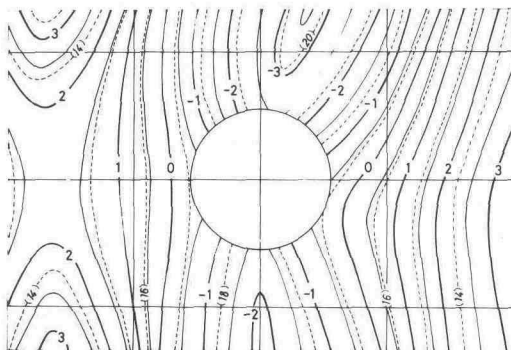


図-3 (a) 写真-2 から求めた等水位線

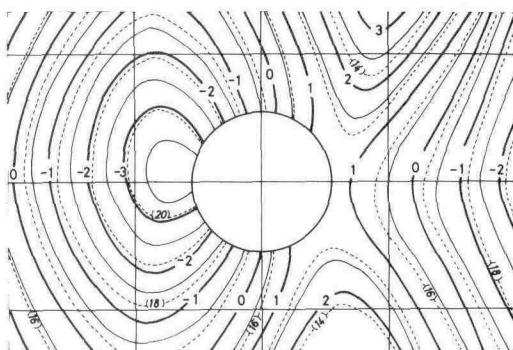


図-3 (b) 写真-2 から求めた等水位線

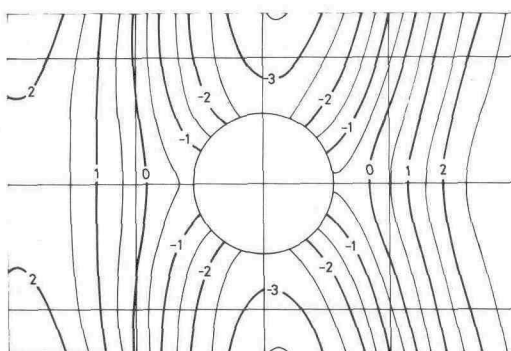


図-4 (a) Case 1 に対する理論等水位線

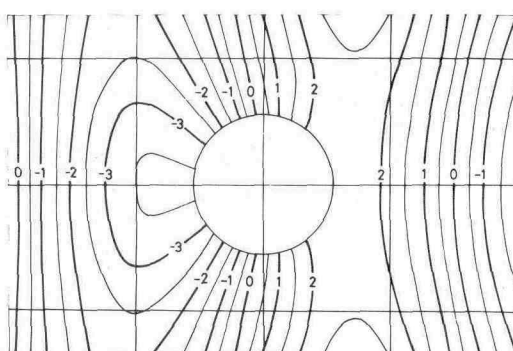


図-4 (b) Case 2 に対する理論等水位線

Case 1: $D = 16.5 \text{ cm}$, $L = 59 \text{ cm}$, $\zeta_0 = 3.1 \text{ mm}$,
 $\alpha t = 113^\circ$ (実験), 110° (理論)

Case 2: $D = 16.5 \text{ cm}$, $L = 59 \text{ cm}$, $\zeta_0 = 3.1 \text{ mm}$,
 $\alpha t = 344^\circ$ (実験), 340° (理論)

注) 入射波は必ずしも右向きに進行している。図-3 (a)~(d) 中の破線は写真 a~d の明い縞を円化したもので、() 内の数字は各縞の次数 n の値を意味する。実線は破線から内挿して求めた 0.5 mm 間隔の等水位線下、数字は各等水位線の静水面上の高さ (mm)。図-4 中の数字も同義。 D : 円柱径, L : 入射波波長, ζ_0 : 同振幅。

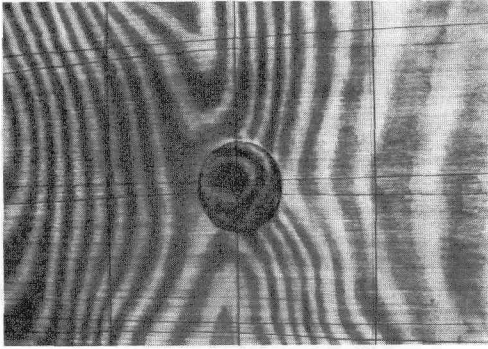


写真- c 水面のモアレ写真 (Case 3)

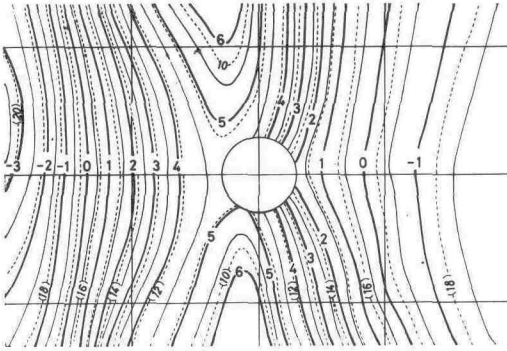


図-3(c) 写真-cから求めた等水位線

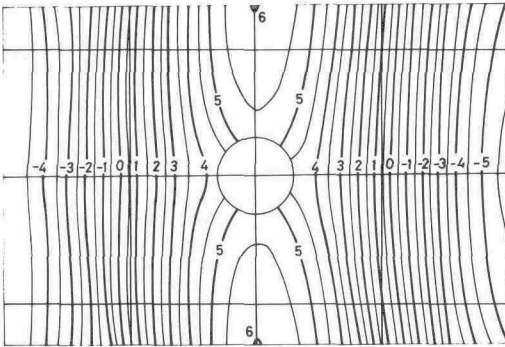


図-4(c) Case 3に対する理論等水位線

Case 3: $D = 8.9 \text{ cm}$, $L = 63 \text{ cm}$, $S_0 = 5.7 \text{ mm}$
 $\alpha = 275^\circ$ (実験), 280° (理論)

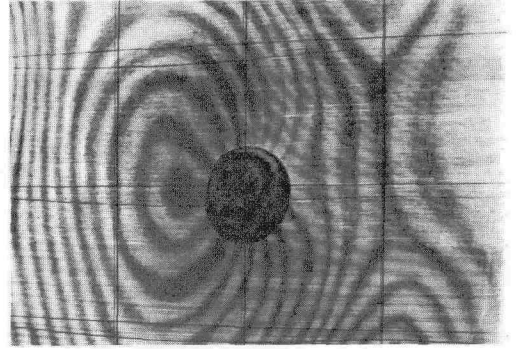


写真-d 水面のモアレ写真 (Case 4)

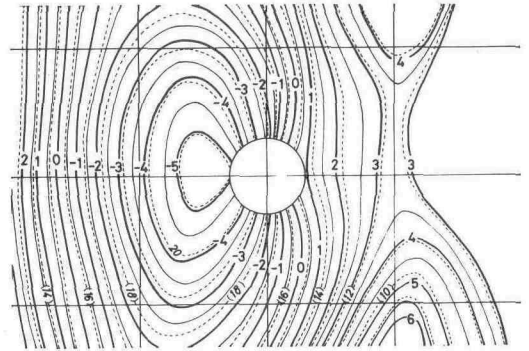


図-3(d) 写真-dから求めた等水位線

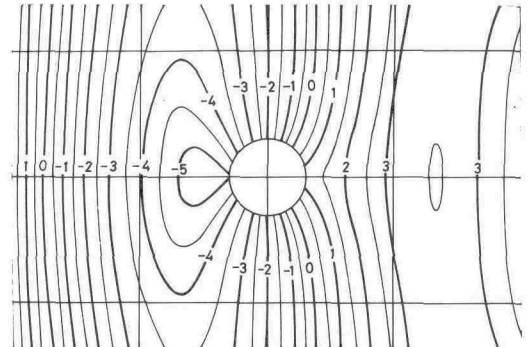


図-4(d) Case 4に対する理論等水位線

Case 4: $D = 8.9 \text{ cm}$, $L = 63 \text{ cm}$, $S_0 = 3.5 \text{ mm}$
 $\alpha = 34^\circ$ (実験), 30° (理論)

4. 讨 論

モアレ写真による水面観測は、精度の点でまだ充分とはいえない。しかしながら精度を向上させる手段は種々考えられ、小型実験水槽等における平面的な水位分布を定量的かつ容易に観測する手法として大きな可能性をもっている。たとえば16ミリシネカメラを用いれば、水位分布を時間的にも空間的にも連続的変動として記録でき、各種の屈折・回折現象、斜面上の波の変形、湾内静穏度、湾口付近の長波の挙動など、応用範囲は枚挙にいとまがない。今後、各方面で利用が試みられ、漸次手法の改良とデータの積重ねが行われることを期待する。