

流れを遡上する表面波の基礎的研究

東北大学工学部 正 員 岩崎敏夫

“ “ 学生員 佐藤道郎

1. まえがき

流れと波との共存系の問題は、河口付近のような流れの場合における波の推算といったことだけでなく、砂の移動、空気防波堤や Water Curtain 等の流体防波堤の消波機構、ないしは、火力・原子力発電所等の取・放水構造物の波の作用に対する防御といった問題とも関連して扱われてきており、工学上興味ある問題の一つとも考えられる。

1942 年、UNNA⁽¹⁾ が、流れの弱いところから強いところに波が侵入すると、波速が減じ波長が短かく波高の大きな Steep な波に変わることを指摘してから今日に至るまで、流れによる表面波の変形に関する研究は様々な成果をもたらしたが、その理論的な扱いは Potential 理論に基くものが多い。ところが、実際工学上問題となる流れの場合は種々の複雑な様相を呈しており、又、流速分布を様々な仮定した理論によつて流速分布が波の性質にかなり影響を及ぼすといったことも指摘されている⁽²⁾。しかし、流れを細かく考慮して扱うのは非常に繁雑となり、その為、流れを $U(z) = \text{const.}$ として表わした Potential 理論は扱い易い。したがって、それがどの程度の精度で実際の流れの場合における波の性質を表現し得るものであるかを十分検討し把握しておくことが望ましいと考えられる。そのような意味合いも含めて、現在、実験的に波が南水路の流れを遡上する際に、波の運動・性質がどのように変化するか調べようと試みており、この報告は現在までに得られた資料から、波速の変化と水粒子の動きに関して簡単に触れてみた。

2. 実験装置とその方法

実験装置を Fig. 1 に示す。水路部は、幅 0.5 m、高さ 0.8 m、長さ 8 m で、下流側にアランジャータイプ造波機を設置してある。水路内は底より高さ 50 mm まで砂を入れ、表面をモルタル仕上げし、さらにその上を防水用のビニール塗料を三回

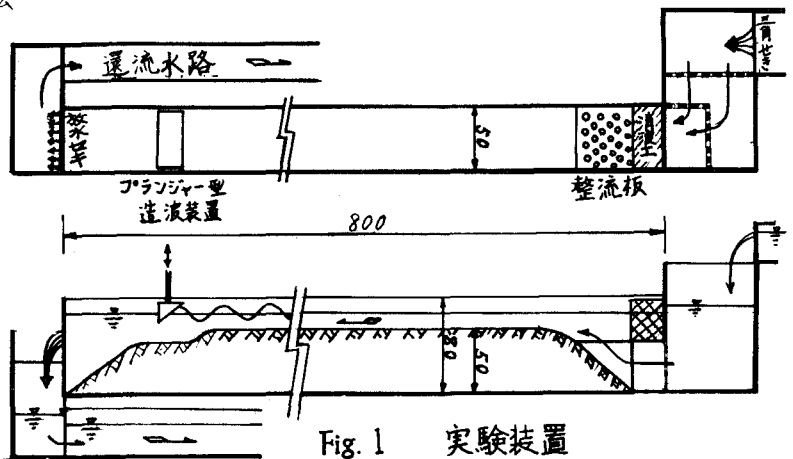


Fig. 1 実験装置

塗って仕上げた。流速は、直角三角セキと通水断面積から平均流速を、又、流速分布を調べるのに着色したキシレンとクロールベンゼンの混合液滴の流下速度、あるいは小型アロペラ式流速計によつて求めた。波の記録は、抵抗線式波高計を使用し、ペン書き及び電磁オシログラフに記録させた。

波速は一定距離だけ離れた二本の波高計間を波が通過するのに要する時間を電磁オシロの記録より読み取って求めた。波長をカメラ撮影から読み取るという方法も従来行われてきているが、流れがある場合水路側面のガラス越しに見える波形を撮ると、水路内の平面的な流速分布の影響から壁近くと流心部でズレが生じ、流心部より大きな結果を与えるようであった。水粒子の軌跡は水面の上方から幅2mmのスリットを通して光を当て、キシレンとクロロベンゼンの混合液を着色した液滴を側面から1秒間撮影した。

3. 実験結果

実験に先立って流速分布を測定してみたがその例をFig. 2に示す。

波速の流速による変化の状況をFig. 3に示す。いま、一様流速分布の流れに波が遡上する場合を考える。 U を流速、 C を波速、 h を水深、 L を波長とすれば、波速には

$$(C-U)^2 = \frac{g}{k} \tanh kh \quad k = \frac{2\pi}{L} \quad (1)$$

関係がある。この場合の波速は静止系から見たものである。流れが無い場合の同一周期、水深の波の速に、もつて表わせば、 $\frac{C}{C_0} = T$ を考慮して

$$\frac{(C-U)^2}{C_0^2} = \frac{L}{L_0} \frac{\tanh kh}{\tanh k_0 h} = \frac{C \tanh kh}{C_0 \tanh k_0 h} = \frac{C}{C_0} \frac{K}{K_0}$$

$$K_0 = \tanh k_0 h, \quad K = \tanh kh$$

で、 $U=0$ で $C=C_0$ を考慮して $\frac{C}{C_0}$ を求めると

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{U}{C_0} + \frac{1}{2} \frac{K}{K_0} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{K_0 U}{K C_0}} \right) \quad (2)$$

根号の中が負となるような流れでは、波は流れを遡上し得なくなる。Fig. 3に実線で示してあるのは(2)による計算結果である。実験値と比較すると $\frac{C}{C_0}$ の小さい波では流速が大きくなるにつれて $\frac{C}{C_0}$ が(2)によるものよりも小さく、てくる傾向が見られる。つまり、流れのあるときの波速は、一様流速分布の仮定から得られるものと較べて実際には少し遅くなるように思われる。理由としては流速分布の影響が考えられるが、しかし、実験的にも流速を流量と通水断面積から得たものを与えてあり、実際は流心部の平均流速が大きく、若干過小な結果を与えているといったことも考えられ、今後、更に詳細な実験を行って検討しようとしている。

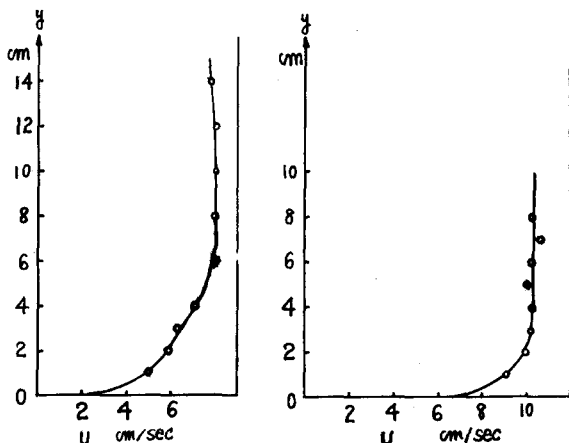


Fig. 2. 流速分布例

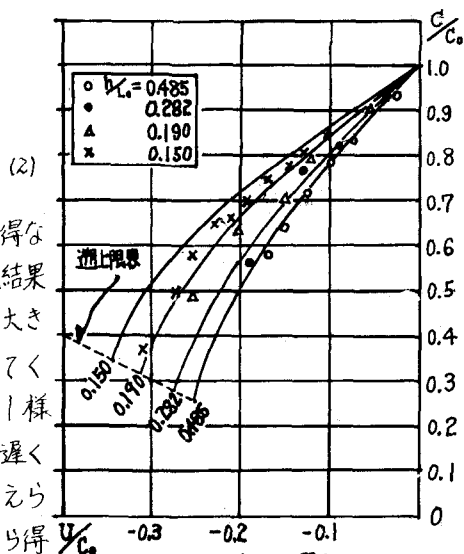


Fig. 3 $\frac{C}{C_0} \sim \frac{U}{C_0}$



Photo. 1

$$v/c_0 = 0.06$$

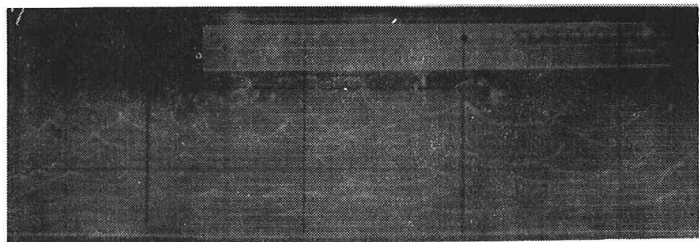


Photo. 2

$$v/c_0 = 0.10$$

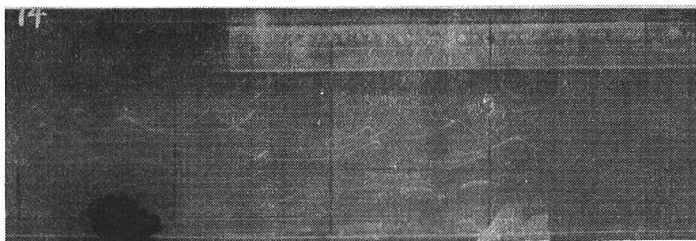


Photo. 3

$$v/c_0 = 0.15$$

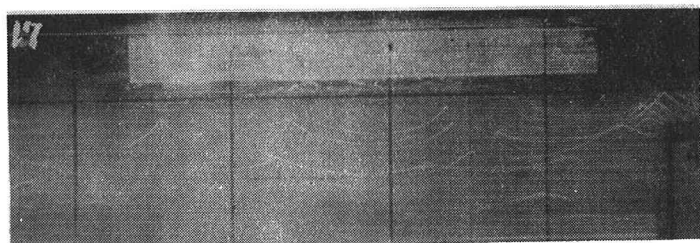


Photo. 4

$$v/c_0 = 0.19$$

Photo. 5

$$v/c_0 = 0.23$$

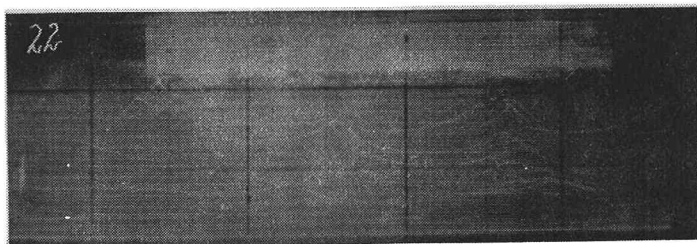


Photo. 6

$$v/c_0 = 0.27$$



-水粒子の軌跡-

$$T = 0.8 \text{ sec.}$$

$$h = 10.5 \text{ cm.}$$

次に、水粒子の動く様子をカメラでとらえたものを前ページに示す。このように、水の運動を可視化することは、運動の機構を解析するにあたり有益な基礎資料を提示してくれる。純粋な波、あるいは重複波の水粒子軌道についてはA.Wallet & F.Ruellan⁽⁴⁾によるものがあり、又、近年、水素気泡法など波の研究に取り入れられている。ここに示すのは、流れと波とが重った場合のもので、上から順に流れを速くしていく場合の様子を示すものである。

Photo. I のエピ・トロコイドに近い軌跡から、次々に流れが速くなるにつれて、各深さの水粒子がそれぞれサイクロイドのような形から、⁽⁵⁾ハイポ・トロコイドのような軌跡を描いて動いていく様子が観察される。なお、これらの写真は、流れは右から左へ、又、波は左から右へ進行しているときのもので、 $T = 0.8 \text{ sec}$, $h = 10.5 \text{ cm}$, $U = 5.7 \text{ cm/sec}$ ($U/c_0 = 0.06$); 9.5 cm/sec , (0.10); 13.3 cm/sec (0.15); 17.2 cm/sec (0.19); 21.0 cm/sec (0.23); 24.8 cm/sec (0.27) である。

4. あとがき

南水路の流れを遡上する表面波の波速の変化と水粒子の軌跡について現在までに得られた若干のデータをもとに簡単な考察を行ってみた。今後、更に実験の精度を上げ、その他の性質についても検討していく。

本研究の実験および資料整理に絶えず熱心に協力された学部学生津村幸弘君に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) UNNA, P.J.H., (1942): *Waves and Tidal Streams*, Nature, 149, No. 3773, P. 219.
- (2) 浜田徳一・加藤 怡., (1961): 流れをさかのぼる波についての一計算, 才8回海岸工学講演会講演集.
- (3) 例えば、(2) あるいは、
WITHAM, G.B., (1962): *Mass Momentum and Energy Flux in Water waves*, Journal of Fluid Mechanics, 12, P. 135
- (4) A.WALLET ET F.RUELLAN., (1950); *Trajectoires internes dans un clapotis partiel*, LA HOUILLE BLANCHE, JUILLE-AOÛT 1950, P. 483