

陸上を遡上する波の先端付近の流速測定

東北大学 工学部 学生員・加藤 聡也
東北大学 工学部 正員 真野 明

1. はじめに

陸上を遡上する波先端の水理特性は、測定が困難なため十分な解明がなされているとはいえない。本論文は、水素気泡法を用いて波先端を可視化し、非定常な流速分布の特性、波先端の物理量の特性について考察したものである。

2. 実験装置 及び 実験方法

実験装置を図-1に示す。幅80cmの水路を半分に分け、片側に $\frac{1}{30}$ の様な勾配をベニヤ板で作った。造波機はプランジャー型であり、造波振幅は第一波の静水面上の値で1.1cmであり、沖側での水深は24cmで一定とした。また対象とする波は第一波の押波である。

波の流速測定には水素気泡法を用いた。汀線上に直径50~100 μ mの白金線を鉛直に立て、これと5~10cm離して水中に入れた銅板の間に電圧300~400V、周期0.02秒、継続時間0.01秒の矩形パルスを加える。気泡を鮮明に出すために、白金線に付く付着物をこまめに取り除いた。また、測定の直前にNaOHを100g程度水に添加し、水の電気抵抗を低下させて、気泡発生量を増加させた。撮影には、キセノン放電管発光のストロボスコープ、ストリークカメラを用いた。ストロボを周期 $\frac{1}{40}$ 秒で発光させ、シャッター開放でカメラを回すことにより、 $\frac{1}{40}$ 秒ごとに現象を撮影することができる。更に、発泡スチロールの浮子を用いたスイッチを水面に取り付け、波が到達したときに、ストロボカメラ、水素気泡発生装置の3つが同時に作動するようにし、再現性のある撮影を行った。ストロボは真上から照射するよりもカメラの反対側へ 10° ほど傾けた方がよいようである。フィルムはASA6400程度の増感が可能にするためコダックレコーディングフィルムを用いた。

水素気泡の撮影は接写して行う必要があるため波が進行するにつれて、波先端と気泡を同じまに写すことができなくなる。そこで気泡を撮影した後、カメラを後方に下げ、波先端及び空間波形を撮影した。

水素気泡の撮影例を写真に示す。

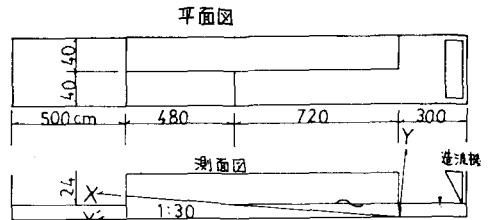


図-1 実験装置

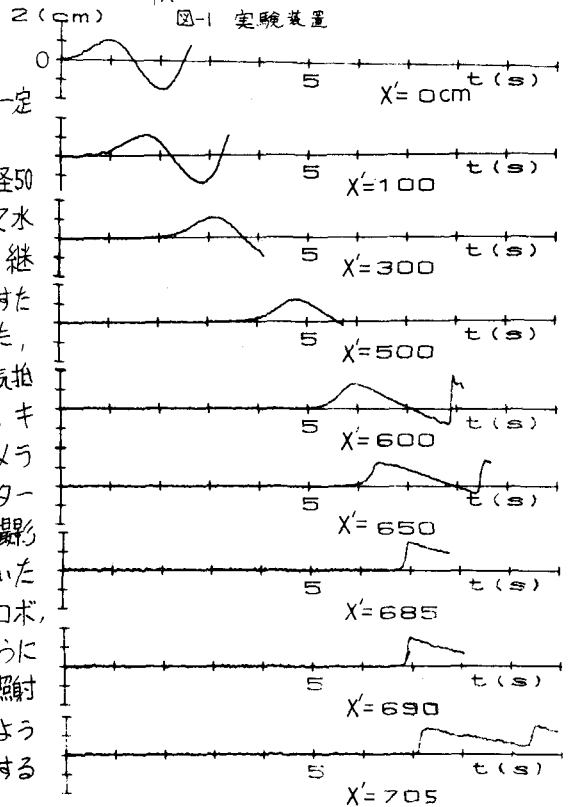


図-2 時間波形

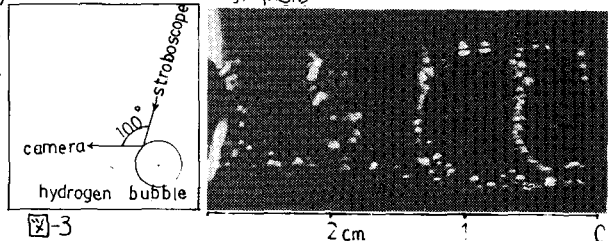


図-3

照射角度

写真: タイムライン ASA6400

3. 実験結果 及び 考察

図-2は、各地点における第一波の波形の経時変化を示したものである。ここでX軸は法先を原点として岸向水平方向にとった。汀線的位置は $X=720\text{cm}$ であり、 $X=690$ の地点で砕波している。砕波水深は 1.0cm である。流速の観測地点は汀線上であるので、砕波直後の波を測定していることになる。また砕波後の波形に注目すると、段波のような形で進行していることがわかる。

図-4は汀線上の平均流速分布を示したものである。ここでY軸は斜面に垂直にとった。第一波が汀線を通過してから $t=0.075$ 秒後の流速分布を一番右に示し、以下左へ $1/40$ 秒ごとの流速分布をX座標の起点をずらして示した。平均流速は、対象時刻を含む前後 $2N+1$ 個の時刻の測定値の加重平均値として

$$\bar{U}(t) = \frac{1}{(N+1)\Delta t} \left[(N+1)U(t) + \sum_{i=1}^N (N+1-i) \{ U(t-i\Delta t) + U(t+i\Delta t) \} \right]$$

により求めた。今回は、 $N=4$ 、 $\Delta t=1/40$ 秒とした。 $t=0.075$ 秒では、一様流速部分のみに関する平均値 $\bar{U}$ は 39.0cm/s 、 $t=0.35$ で 30.9cm/s である。また境界層における $\bar{u}$ が時間がたつにつれて小さくなっていく様子がわかる。この平均流速を $\log_{10}$ に対してプロットしたものが図-5である。この図に対数則 $\frac{\bar{u}}{U_*} = k \log \frac{y}{y_*} + A + R$ を適用し、 $k=0.4$ で一定として $\bar{u}$ を読みとり、平均的な摩擦係数 f を求めることができる。ここでは $f=2U_*^2/\bar{u}^2$ で定義した f を用いる。それぞれの t において f を求めたものが図-6である。ここで流速の測定位置と波先端との距離 L と U を用いてレイノルズ数を定義した。 $Re = UL/\nu$

図-7は先端部を写した写真から読みとった先端波形の変化の様子である。X軸は汀線を原点として斜面に沿ってとったものである。このデータから先端部の移動速度 dx/dt を読みとることができる。 dx/dt は先端部の波速 c と先端部の平均流速 $\bar{u}$ の和として表わされるが、ここでは $\bar{u}$ の代わりに、X方向に流速分布は一樣と仮定して、 U を用い、 $dx/dt = c + U$ とした。これに基づいて dx/dt 、 U 、 c と L の関係を図-8に示した。フルード数 $Fr = U/c$ を点線でプロットしたところ、 $1.4 \sim 1.6$ くらいでほぼ一定となった。また図-7における○印は波先端の波速を長波の波速公式 $c = \sqrt{gR}$ にあてはめて、 R を求め、その位置を示したものである。図によると $t=0.275$ の波において段波状になっている波の段の部分が R になっており、前述の仮定は、ある程度、妥当なものといえるであろう。

4. おわりに

本研究では水素気泡法により波先端付近の流速分布を測定したが、ごく先端部($t < 0.075$)では乱れが大きいため、測定できていない。今後はこの問題を解決していきたい。最後に、実験を行うにあたり、東北大学工学部 佐藤栄司技官より、助力を得た。ここに謝意を表する。

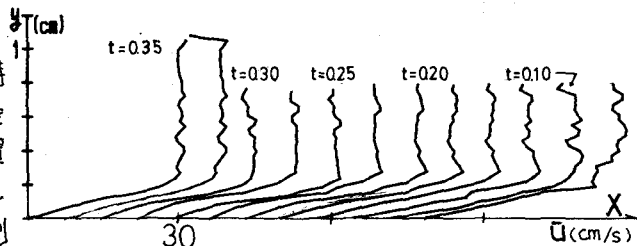


図-4 汀線上の平均流速分布 1

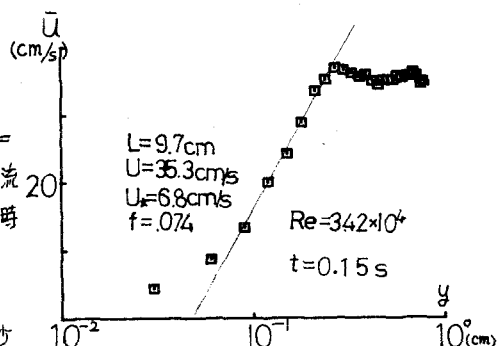


図-5 汀線上の平均流速分布 2

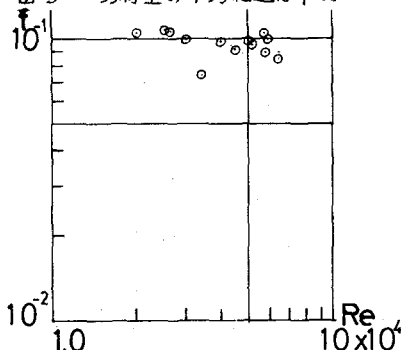


図-6 摩擦係数 f

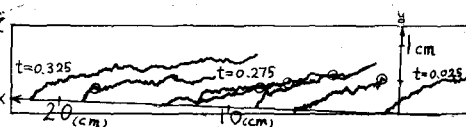


図-7 空間 波形

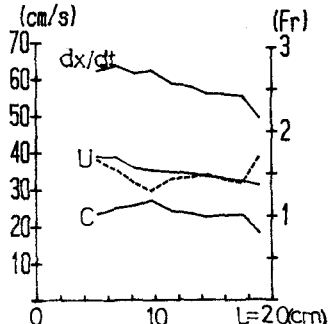


図-8 流速, 波速, フルード数