

II-273 陸上遡上段波の流速分布特性

東北大学大学院 学生員 ○飯塚英之
東北大学工学部 正 員 真野 明

1. はじめに

沖側で碎波し段波状になった波が陸上に遡上する時の流速測定は先端部に乱れが含まれていることや、速い速度で先端部が移動することなどのため難しく、水素気泡法を用いた著者らの研究¹⁾の他はほとんど行われてない。本研究はこの方法をさらに発展させ、遡上流れから戻り流れにわたる一連の流速分布を測定し、その特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験装置

実験に使用した水路を図-1に示す。幅80cmの水路をベニヤ板で半分に仕切り、その片側に1/30の勾配の底面をベニヤ板で作成した。側面はガラス張りとして流れの様子を観察できるようにした。水路の端にはプランジャー式造波機を設置した。また、測定地点とその周辺の底面を白く塗装して反射光を多くするように工夫し、また、側面のベニヤ板を黒く塗装して気泡が側面から見て浮き出るようにした。さらに、周囲を暗幕で覆い外部からの光の侵入を防ぐようにした。

3. 実験方法

実験条件は周期 $T = 1.9$ s, 沖側水深 $h_i = 24$ cm
沖側での造波振幅 $a_i = 1.1$ cmであり、波は斜面途中でSpilling形の碎波をし、汀線に段波状になって入射する。流速測定には、水素気泡法を用いた。汀線上に直径 $50\text{ }\mu\text{m}$ の白金線を、底面に対して垂直に立て、約10 cm沖側に銅板を置き、それらに300~500 Vの電圧を印加した。水素気泡の撮影には、ストロボスコープストリークカメラを用い、これらと2個の遅延装置を組み合わせて、時間的な制御を行った。

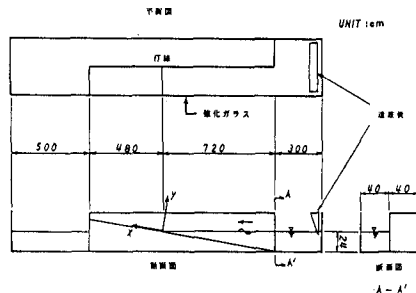


図-1 実験水路

4. 実験結果および考察

流速はデジタイザーで読み取り、対象時刻を含む前後9個時刻の加重平均²⁾を取る操作を行った。図-2に一連の流速分布の変化を示す。時刻 t の原点は波先端が汀線に達した時刻とし、 $t = 0.1$ sからの流速分布を示してある。横軸は流速、縦軸は底面から垂直上方にとった y 座標を表す。 $t = 1.5$ s前後で流れは戻り流れに移行している。図-2の $t = 0.1 \sim 0.7$ sを見ると境界層厚さの増加および主流流速の減速が顕著に示されているのがわかる。一方、 0.7 s以後は、戻り流れに移行しても、顕著な変化は見られず、 $0.5 \sim 0.7$ sを境に大きく様子が異なっている。また、戻り流れへ移行した直後では流れの下層部の位相が進んでいることがわかる。図-3に境界層外側の平均流速 $\bar{U}$ の絶対値と水深 D の経時変化を示す。 D に着目すると $t = 0.2$ sにかけて入射段波のものと思われる水深の急激な増加が見られる。 $t = 0.4 \sim 0.7$ sにかけても、段波状の変化を示しており、不連続帯部の通過が伺える。図-4に境界層外側の流れにおける運動方程式の各項の経時変化を示す。この図を見ると $t = 0.4$ s以前では、運動量フラックス項が局所項と圧力勾配項に釣り合うかたちとなっており、 $t = 0.6$ sを過ぎると、これらの値は $t = 0.4$ s以前と比べて非常に小さくなっているのがわかる。また、 $t = 0.5$ s付近で発散しているが、これは $\partial U / \partial x$, $\partial D / \partial x$ を計算する式の分母が零となるためである。その分母の部分を零とみると、 $0 = U^2 / a^2 - g D \cos \theta$ これを変形すると、 $Fr^2 = 1 = \bar{U}^2 / g D \cos \theta$ となり、一般の開水路流れでのフルード数の定義式に一致する。従って、 $t = 0.5$ s以前では、時刻とともに $\bar{U}$ は減少してゆき、 D は増加して $Fr =$

1へと向かうので、流れは射流であると考えられる。一方、 $t = 0.5$ s以後は流れは常流となっていると考えられる。以上のことから、水深Dの $t = 0.5$ s前後の急激な増加は遷移領域の通過のためであり、また、流速分布の傾向の変化は流れの状態が変わったためと考えられる。次に、図-5a)b)に流速分布を排除厚 δ_* と主流流速 $\bar{U}$ で無次元化したものを示す。図中の曲線はレイリー問題の解の誤差関数を示しており、a)では多少の差があるものの、時間経過した $t = 0.65 \sim 1.45$ sのb)では、ほとんど一致している。また、 δ_* の経時変化を調べたのが図-6であり、図中の曲線はレイリー問題の理論解から得られる $\delta_* = 1.13 \sqrt{\nu t}$ を表している。 $t = 0.05 \sim 0.3$ sで実験値と曲線は少し差がある。 $t = 0.5 \sim 1.4$ sにかけては非常によく一致しており、段波が陸上に遡上したときの波先端付近の境界層の発達、底面が瞬時に移動を開始するレイリーの現象と考えられることを示している。このとき底面摩擦は $\tau_b / \rho = \sqrt{(\nu / \pi t)} \cdot \bar{U}$ となる。ここで、 t は動き出した瞬間から計った時間である。本研究では、層流状態で実験を行い、底面に明確な境界層ができた。戻り流れが始まる所では流速分布のふくらみがあるため、排除厚は小さくなり、その解消とともに厚くなっていることがわかる。

【参考文献】

- 1) 真野 明, 加藤聡也: 段波の陸上遡上時の摩擦特性, 第34回海岸工学講演会論文集, p.16-20, 1987.
- 2) イスマイル・アイデン, 首藤伸夫: 波と流れによる砂漣上の流況, 第32回海岸工学講演会論文集, pp.278-282, 1985.

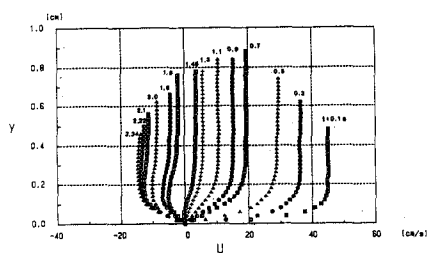


図-2 流速分布

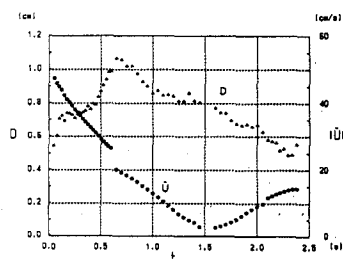


図-3 流速・水深の経時変化

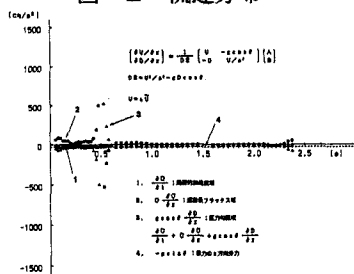


図-4 運動方程式の各項の経時変化

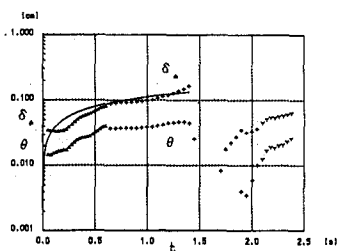


図-6 排除厚の経時変化

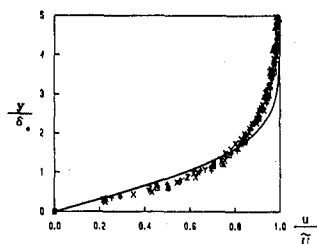
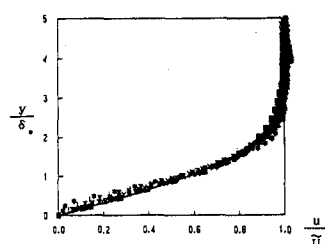
a) $t = 0.005 \sim 0.6$ sb) $t = 0.65 \sim 1.45$ s

図-5 無次元流速分布