

東北大学大学院 学生員 ○ 加藤 聡也
東北大学工学部 正 員 真野 明

1. はじめに

沖で砕波した波が陸上で遡上する際に底面摩擦の影響が大きいことが知られており、著者らはこれまで水素気泡法を用いた可視化の方法を用いて汀線の流速を測定してきた¹⁾。ここでは、汀線での境界層の発達の様子と、汀線での測定値を沖側境界条件とした数値解析の結果について述べる。

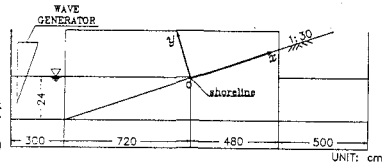


図-1 実験水路 (側面図)

2. 実験方法 及び 実験条件

実験に使用した水路を図-1に示す。実験は1ケース行い、第1波の押波を対象とする。造波周期は1.9s、造波振幅は1.15cmであり、汀線から沖側36cmでスピリング砕波している。砕波波高は、1.59cmであった。

まず陸上を含む各地点で、抵抗線式波高計により水位を測定した。次に、 $x=0$ (汀線)で、50 μ m径の白金線を陰極として設置し流速を測定した。汀線上に水面センサーを置き、波が到達すると遅延装置に信号が入るようにした。これにより、タイムラインとストロボスコープの同期をとることができる¹⁾。

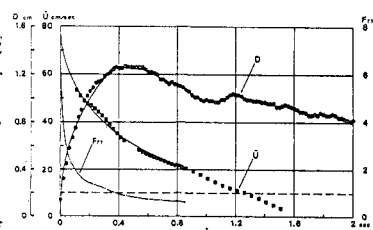


図-2 D, U, Fr の経時変化($x=0$)

3. 汀線での境界層の発達について

図-2に、汀線での水深 D 、境界層の外側の流速 U 代表長さとして D を用いたフルード数の経時変化を示す。ここで波先端が汀線を通過する時刻を $t=0$ とする。 D がピークに達する時刻で流れが射流から常流に変わっていることがわかる。

著者らはすでに、流速分布を D と U を用いて無次元化し、 $t=0.8$ sあたりまで相似則が成り立つことを示している¹⁾。そこで今回は、境界層の大きさを直接評価してみる。

図-3に境界層厚さの尺度として用いられる排除厚さ δ_* と、運動量厚さ θ の経時変化を示す。 δ_*, θ とも0.3sあたりまで増加している。 D がピークに達する0.36sまでで回帰式と相関係数を求めてみると、

$$\delta_* = 0.17t^{0.52} \quad (r=0.74)$$

$$\theta = 0.089t^{0.61} \quad (r=0.86) \quad (0.06 < t < 0.36s) \quad (1)$$

定常流平板境界層理論では、境界層は、 $x^{0.5}$ に比例して発達するのであるが、今回の結果は、これに近いものとなった。

ところが、1.1s以後境界層は急速に発達する。これは、第1波が斜面にあたったことによる反射波が、汀線に到達したことによるものと考えられる。この時間領域で回帰式を求めると、

$$\delta_* = 0.11t^{2.12} \quad (r=0.91)$$

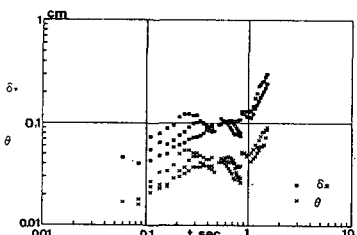


図-3 δ_*, θ の経時変化($x=0$)

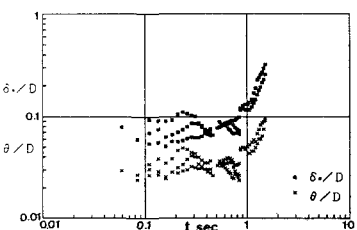


図-4 $\delta_*/D, \theta/D$ の経時変化($x=0$)

$$\theta = 0.044t^{1.53} \quad (r=0.86) \quad (1.01 < t < 1.51s) \quad (2)$$

次に、水深と境界層との相互関係を明らかにするため、 δ_* , θ をDで無次元化した量を考える。図-4にその変化を示す。

$t=0.06 \sim 0.86s$ の範囲で、ばらつきがあるものの、ほぼ一定値で推移しているようである。この結果は、これまで代表長さとしてDを用いてきたことの妥当性を示すものである。

次に、代表的な長さのスケールとして、Dに代わって δ_* , θ を用いることとし、流速分布の無次元化を試みる。すなわち、

$$y_d' = y / \delta_*, \quad y_m' = y / \theta \quad (3)$$

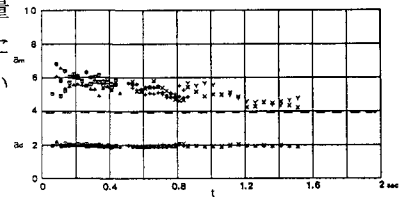
という無次元長さを導入する。

定常流平板境界層のブラジウス解によると、99%境界層厚さ δ と排除厚さ δ_* の比は、2.9となり、同様に運動量厚さ θ との比は、7.5である。

この結果を準用して流速分布の分布形を表わす積分量を定義する。すなわち、

$$a_d = \int_0^{2.9} u' dy_d', \quad a_m = \int_0^{7.5} u' dy_m' \quad (4)$$

つまり、 a_d と a_m は境界層の内側の分布形を定量的に表わすような量となる。図-5に、 a_d , a_m の経時変化を示す。 a_d は2前後にきれいにまとまり、 δ_* を時間的に長い領域にわたって、代表的長さとして用いることが適当だと示された。



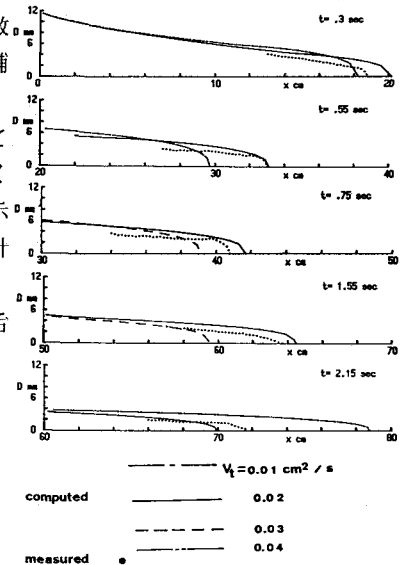
4. 数値計算への適用

著者らが提案している特性曲線法²⁾を用いて数値計算を行なった。

先端での境界条件は $D=0, d\epsilon/dt=U$ である。ここで ϵ は波先端の位置であり、 U は断面平均流速である。ここでは、分布係数や全動粘性係数は解析領域を通じて一定であると仮定して計算を行なった。運動量補正係数は、 $\beta=1.05$ とした。

図-6で空間波形の比較を行なう。計算値は全動粘性係数を変えて計算したものである。 $\nu_t=0.02\text{cm}^2/\text{s}$ の計算値が全体的に実験値と良く一致しており、分子粘性と同程度の渦動粘性が含まれていることを示している。 t が大きくなると実験値は $\nu_t=0.02\text{cm}^2/\text{s}$ として行なった計算値からずれてくる。これは渦動粘性が減衰していることを示す。 $t=0.8s$ あたりまで、測定した波形の先端は底面摩擦力が大きいため舌状になっているが、それ以後は底面に接するような形になっている。これは計算結果ほど先端で摩擦がきいていないことを示している。

図-5 a_d, a_m の経時変化($x=0$)



5. おわりに

結論を述べる。

- 1) 汀線での水理特性をきめる代表長さとして δ_* が適当である。
- 2) 特性曲線法により実験波形を再現することができる。

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, pp16-20, 1987
- 2) 真野明・加藤聡也：流速分布を考慮した波先端の特性曲線解、土木学会論文集第387号, pp273-280, 19

図-6 空間波形の計算値との比較