

防衛大学校 正会員 藤間功司
 防衛大学校 多久竜一
 防衛大学校 正会員 林建二郎
 防衛大学校 正会員 重村利幸

1. はじめに

河川を遡上する津波や下流側水深を有するダム破壊流れの先端部は段波状となり、大規模な渦が形成される。したがって、碎波後の津波先端波形を精度よく計算するためには、大規模渦の影響を取り入れる必要がある。水深 h の静水を移動する波速 C の段波先端の大規模渦は、第1次近似として流入フルード数が C/\sqrt{gh} の跳水にできるものと本質的に同じであると期待できる。跳水と段波では底面摩擦の分布が異なるため、厳密には両者の水面形は一致しないが、その差は $Fr=8$ において4%程度であり、大きな誤差は生じない¹⁾。著者らはこのような考えに基づいて段波のモデルとして跳水を用いた実験を行っている²⁾。そして、先端部においては流速分布が一様でないことによる運動量輸送が圧力勾配や移流項と同程度の大きさを持つことを明らかにした。しかし、実験が1ケースのみだったため、今回実験ケースを追加し、さらに実用問題に適用する方法を考察した。実験条件は $Fr=2.4$ (単位幅流量 $Q_{in}=126\text{cm}^2/\text{s}$, 流入水深 $H_{in}=1.4\text{cm}$) である。フルード数は文献2)のケース ($Fr=2.6$) とほぼ同じだが、単位幅流量はほぼ半分である。

2. 実験方法

実験装置を図1に示す。底面は滑面である。x軸は跳水先端から下流方向へ、z軸は底面から鉛直上向きに取っている。ただし、後の議論では正方向へ進行する段波への適用を考えるので、xによる微分などは符号を変えている。このときには、流入流速 U_{in} が波速 C に対応する。平均水深 $H(x)$ をポイントゲージ、平均流速 $u(x, z)$ をレーザー流速計で測定した。流速計の信号はサンプル周波数100Hzで20,000個採取し、ロックのはずれたデータは除去して処理を行った。ここではx方向の流速しか測定していないが、これは乱れそのものの効果は小さいことがすでに明らかになっているためである。測定点はx方向には0.5~1cm間隔で $x=8\text{cm}$ まで、z方向には1mm間隔で底面から水表面付近まで配置している。ただし、先端付近では気泡混入や水面の変動によって水表面付近の流速データが得られていないため、 $x>3\text{cm}$ でのみ処理を行った。

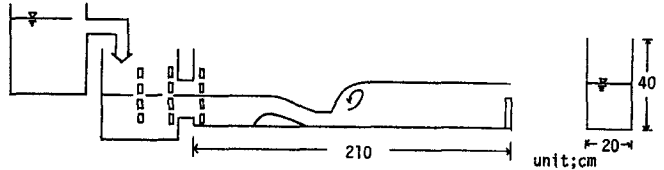


図1 実験装置

変えている。このときには、流入流速 U_{in} が波速 C に対応する。平均水深 $H(x)$ をポイントゲージ、平均流速 $u(x, z)$ をレーザー流速計で測定した。流速計の信号はサンプル周波数100Hzで20,000個採取し、ロックのはずれたデータは除去して処理を行った。ここではx方向の流速しか測定していないが、これは乱れそのものの効果は小さいことがすでに明らかになっているためである。測定点はx方向には0.5~1cm間隔で $x=8\text{cm}$ まで、z方向には1mm間隔で底面から水表面付近まで配置している。ただし、先端付近では気泡混入や水面の変動によって水表面付近の流速データが得られていないため、 $x>3\text{cm}$ でのみ処理を行った。

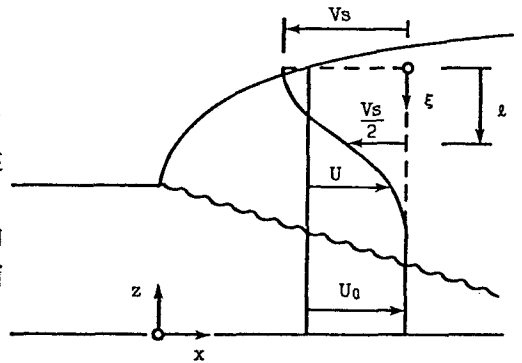


図2 先端部の流れの模式図

3. 実験結果

流れの模式図を図2に示す。ポテンシャル層の上に碎波乱流域が存在し、跳水先端から徐々に広がる。碎波の速度スケール V_s は断面における流速差の最大値に対応したものである。実際にはポテンシャル流速 U_0 と水表面流速 U_s の差として計算する。 l は半値幅であり、碎波の長さスケールである。各測線における碎波乱流域の流速分布から V_s と l を求め、流速分布を3次曲線で近似して $\int (U-\bar{U})^2 dz$ などを計算した。流速分布の一様でない効果を表わす量として運動量補正係数 β および拡散係数 ν_H を次のように定義する。

$$\int_0^H (U-\bar{U})^2 dz = (\beta-1)\bar{U}^2 H = -\nu_H \frac{\partial}{\partial x}(\bar{U}H) \quad (1)$$

ここで、 U は段波の流速($U=U_{in}-u$)、 \bar{U} は断面平均流速である。実験値から β と v_H を算出した結果をそれぞれ図3、4に示す。図中、白丸が今回のデータで、黒丸は文献(2)のデータである。

図3から、 β の分布形は両ケースでほぼ類似していることが分かる。しかし、先端からの距離のパラメタが異なっており、 β を用いて運動量輸送の増加を表わす場合には、 x 方向の長さスケールに工夫する必要があるだろう。

図4の v_H の分布にはばらつきが大きく、分布形までは議論できない。しかし、大きさはほぼ $v_H/(Vs\ell)=1\sim 3$ の範囲にある。したがって $Vs\ell$ を評価できれば、段波の計算に v_H を用いることが可能になる。擬定常状態であれば次のような近似から $Vs\ell$ を推定できる。

まず、ポテンシャル層が存在すると仮定する。これは、流速分布の非一様性が重要になる段波先端部ではほぼ満たされる。このとき、ポテンシャル流速 U_p は、次のように表わされる。

$$C^2/2 + gH_{in} = (C-U_p)^2/2 + gH \quad (2)$$

次に、碎波乱流域の流速分布に相似則を仮定すると、流速を z 方向に積分して次式を得る。

$$\bar{U}_H = U_p H + S V s \ell \quad (S: \text{定数}) \quad (3)$$

これらの関係から、 $Vs\ell$ は次のように求まる。

$$V s \ell = H(\bar{U}-C + \sqrt{C^2 - 2g(H-H_{in})})/S \quad (4)$$

図5に、式(4)で求めた $Vs\ell$ を用いて $\int_0^H (U-\bar{U})^2 dz$ を評価した結果を示す。実験値との一致は良好であり、擬定常状態であれば、この種の近似で十分流速分布の非一様による運動量輸送の増加を評価できると思われる。

4. おわりに

跳水を用いて段波先端における流速分布の非一様性の効果について調べた。特に、運動量補正係数と拡散係数を求め、適用方法についても考察した。その結果、 β の分布形は各ケースで類似しているが、 x 方向の長さスケールはフルード数がほぼ同じでもケースによって異なること、 v_H の大きさはほぼ $2Vs\ell$ 程度であることを明らかにした。ただし、今後広範囲の実験を行い、係数の適用範囲などを調べる必要があるだろう。

参考文献

- 1) Herleman: Discussion on Rouse et al., J. Hydraul. Div., ASCE 84(HY6), pp.1856-52-56, 1958.
- 2) 藤間・首藤: 跳水を用いた碎波段波の乱流測定, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.64-68, 1988.

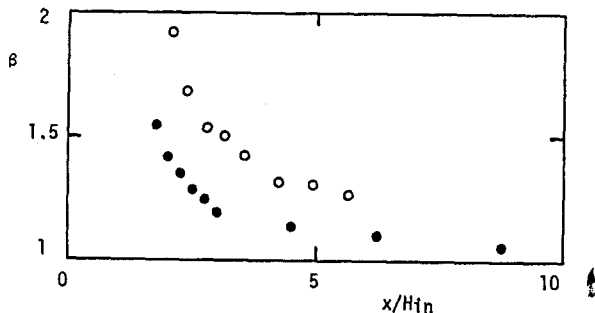


図3 β の分布

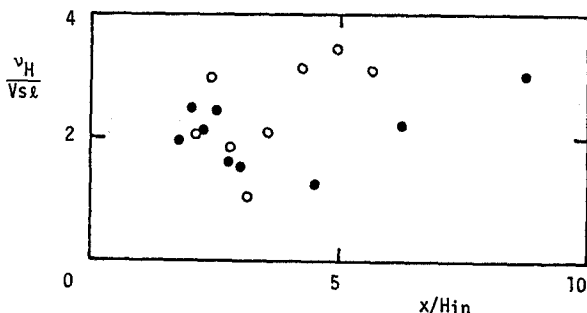


図4 v_H の分布

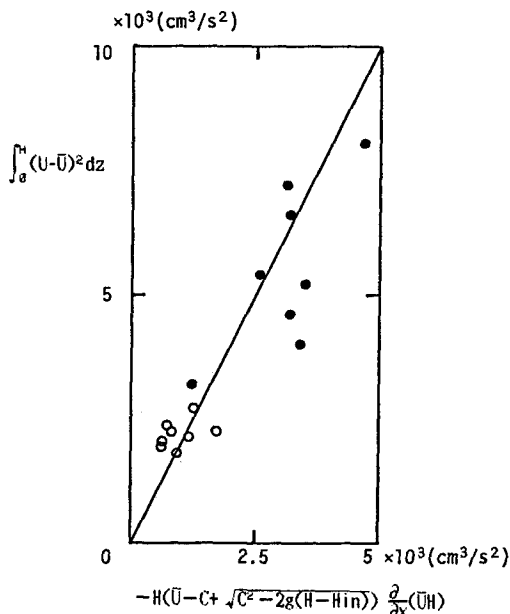


図5 $\int_0^H (U-\bar{U})^2 dz$ の近似