

段波における大規模渦による 運動量輸送の増大について

防衛大学校 多久 竜一
防衛大学校 正会員 藤間 功司
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。このとき、波速 C の段波先端に形成される大規模渦は、第1次近似としては流入フルード数 $Fr=C/\sqrt{gh}$ の跳水にできるものと同じであると期待できる。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。

そして、先端部においては大規模渦による運動量輸送が圧力勾配や移流項と同等の大きさをもつことを明らかにし、大規模渦による渦拡散係数を求めた¹⁾。しかし、流入フルード数 $Fr=2.6$ の場合のみで

あったため、今回新たに $Fr=4.1$ ($Q_{in}=55\text{cm}^2/\text{s}$, $H_{in}=0.57\text{cm}$) の場合の実験を行った。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²⁾、大きな誤差は生じない。

2. 実験装置

実験装置を図1に示す。底面は滑面である。

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20000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 方向流速の測定しか行っていないが、そ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。 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。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近くまで配置している。ただし、実際には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、 $x>5\text{cm}$ でのみ処理を行った。

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砕波乱流域が存在し、跳水先端から徐々に広がる。

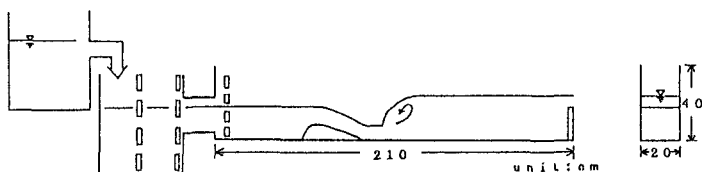


図-1 実験装置

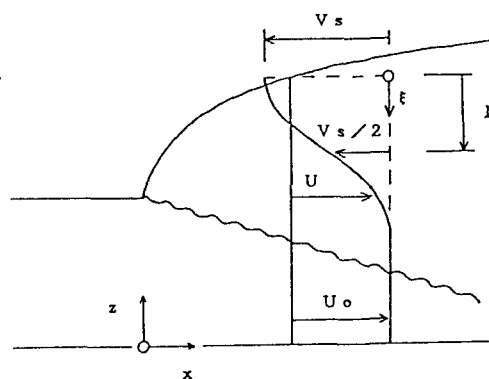


図-2 V_s と l の定義

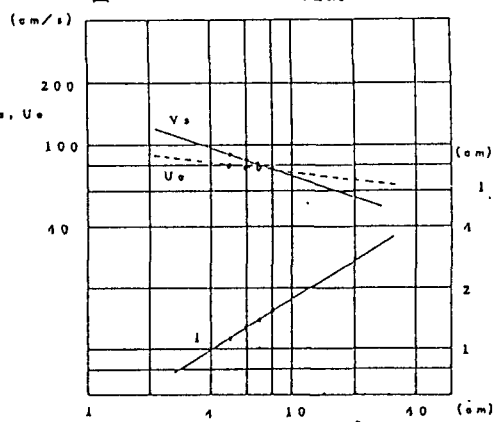


図-3 V_s と l の変化

砕波の速度スケール 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。 V/V_s 。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 は半振幅であり、砕波の長さスケールである。ただし、 $x > 5\text{cm}$ ではすでに砕波乱流域が底面境界層に達してしまい、 U_0 を実験値から決定できなかった。そこで、文献1)と同様、仮想のポテンシャル層を考え、

$$\frac{U_0^2}{2} + gH = \frac{U_{in}^2}{2} + gH_{in} \quad (1)$$

として U_0 を求めた。 U_{in} は流入流速である。また水表面流速 U_s は、水表面付近の流速を外挿して求めた。

V_s と l の変化を図3に示す。

図4は V_s と l で無次元化した砕波乱流域の流速分布を表わす。ただし、 $V = U_0 - u$ 、 $\xi = (H - z)/l$ である。図から、 Fr が大きい方が水表面近くの流速が大きくなる傾向はあるものの、全体的にはほぼ同じ曲線で近似できることが分かる。そこで、

$$V/V_s = a\xi^3 + b\xi^2 + c\xi + d, \quad (2)$$

$$a=0.0815, b=-0.218, c=-0.364, d=1.0$$

という3次曲線を用いて段波の運動量輸送を評価する。運動量輸送は次式で表わされる。

$$\bar{U}^2 H + \int_0^H (U - \bar{U})^2 dz \quad (3)$$

ここで、 U は段波の流速、 $\bar{U}$ は断面平均流速である。

第1項は鉛直方向に積分した浅水理論の移流項である。第2項が大規模渦による運動量輸送の効果を表わす。いま、正方向に進行する段波を考え、流速 $U = U_p + V$ とする。 $U_p = U_{in} - U_0$ で、 V は式(2)で表わされる。さらに大規模渦による渦拡散係数 ν_H を次式で定義する。

$$\int_0^H (U - \bar{U})^2 dz = -\nu_H \frac{\partial(\bar{U}H)}{\partial x} \quad (4)$$

ν_H を $V_s l$ で無次元化して、図5に示す。図から、 $\nu_H/(V_s l)$ は1~10のオーダーで、 Fr が大きいと渦拡散係数も大きくなる事が分かる。 Fr は段波の波速に対応しており、非線形性の強さを表わすと考えられるので、これは妥当な結果である。

4. おわりに

跳水を用いて砕波段波の先端部の構造について検討した。その結果、砕波乱流域の流速分布がフルード数に関係なくほぼ同じ曲線で近似できることが分かった。また大規模渦による運動量輸送を拡散項を用いて表わした。しかし、フルード数によって拡散係数の値が大きく変わるため、さらに数ケースの実験が必要である。

参考文献

- 1) 藤間・首藤：跳水を用いた砕波段波の乱流測定，第35回海岸工学講演会論文集，pp.64-68，1988。
- 2) Haerlema：Discussion on Rouse et al., J. Hydraul. Div., ASCE 84(HY6), pp.1856-52-55, 1958。

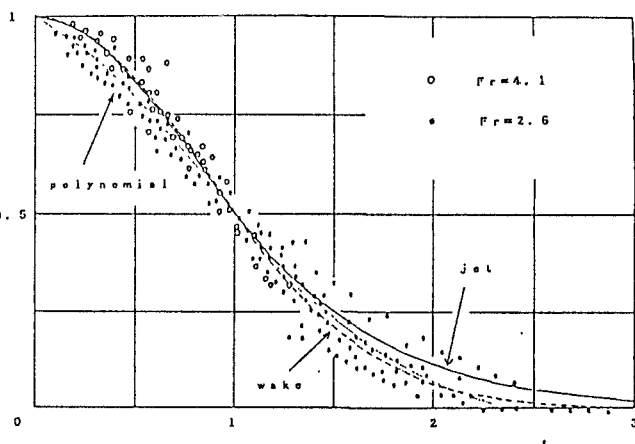


図-4 平均流速分布

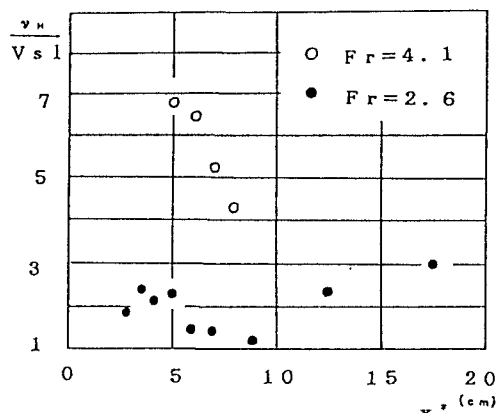


図-5 ν_H の評価