

II-109 兩岸部に植生帯を有する流れに生じる水平渦の安定性と運動量輸送

東京工業大学 学生会員 陳 飛勇
 7エロ-会員 池田駿介
 北海道開発庁 正 会員 空閑 健

1. はじめに 側岸部に植生を有する開水路に発生する大規模水平渦は変曲点不安定性により形成される。兩岸に植生帯を有する場合には発生する水平大規模渦は2列となり、2列渦列の干渉による安定性の影響を受けると考えられる。本研究はこの水・植生境界に生じる大規模乱流の渦構造、渦列の安定性と運動量交換の関係を解明するために、室内実験を詳細に行ってこの関係を明らかに、更にSDS & 2DHモデルを用いた数値計算を行った。

2. 数値解析 今回対象としたような鉛直スケールと水平スケールが大きく異なるような流れ場では乱れに強い異方性が存在し、又、渦列間の干渉あるいは渦同士の合体などが現象を決定する重要な要素である。これらを再現するために、灘岡・八木¹⁾が提案したSDS & 2DHモデルを採用した。このモデルは水深スケール以下の3次元性が強い乱れと水深スケール以上の大規模乱れを分離し、前者については乱れエネルギーの輸送方程式を用いた1方程式モデルで解析し、後者についてはReynolds方程式を直接計算している。このSDS & 2DHモデルについては灘岡・八木によって公表されているので、基礎方程式系については載せない。SDS & 2DHモデルを用いた数値解析の初期条件、境界条件は以下の通りである。

初期条件として、計算時間を節約するために $v_t = \text{一定}(ku_* H/6)$ として定常流計算を行い、それから得られる流速分布をあたえた。境界条件については、上下流端では実質微分が0となるよう周期境界条件を設定した。側壁では、スリップ条件とした。解析領域は、完全発達した流れ領域で長さ8m、幅1.2mである。計算格子サイズは2cm×1.25cmとした。実験から決める水深・流速など計算条件は表-1に示す。実験の詳細は文献2)を参照されたい。

3. 流速変動 図-1に渦列の通過に伴う流速変動を示す。本計算条件で非植生帯幅bが最も広い場合は両植生境界で見られる周期的な流速変動は周期はほぼ等しいものの、お互いの位相関係は一定せず、渦列は相互に独立に振る舞っている。非植生帯幅が狭まるにつれ、渦列はお互いに逆位相関係を取る傾向が強まってくる。b=40cmの場合のRun 3では、流速変動はほぼ完全に逆位相関係を取り、渦列の通過状況は極めて安定している。さらに非植生帯幅が狭くなると、この安定な関係は次第に崩れてくる(b=20cm)。

4. 水深平均流速 図-2は水深平均流速の横断方向分布について、2列の渦列のお互いの干渉が弱いRun 1、渦列がお互いに強く干渉し、渦の配置が安定な千鳥状となっているRun 3、及び水面変動が不規則で水平組織渦というより乱れた様相を示しているRun 5における実測値と数値解析による結果を示している。図中、 $\bar{u}_0$ は植生から十分に離れ、その影響を全く受けない位置における水深平均流速を表している。又、y/b=0が植生境界を表し、y/b=0.5が水路中心に対応している。y/b=0.5を中心線として流速分布は対称であるので、水路中心から片側のみを図示している。Run 1, Run 3については、計算値と実測値の一致は良好である。Run 1では水路中心において約 $\bar{u} = \bar{u}_0$ であり、植生帯の影響を受けない領域が水路中心部に存在するのに対し、2列の渦列が強く干渉しているRun 3では水路中心においても $\bar{u} \approx 0.9\bar{u}_0$ 程度の値となり、渦列の影響が水路中心にまで及び、水平組織渦による運動量輸送によって流速が若干小さくなっている。このことは、水面変動でみた2列の渦列の干渉効果を流速分布の面からも裏付けられる結果となっている。Run 5では、数値解析解は実測値をよく再現しているとはいえない。この理由は、数値解析モデルでは、水平渦のスケールが水深スケールの乱れに対して十分大きく、又水平渦が組織構造を有している仮定を満足していないためであると考えられる。図-3に、渦のスケールについて実測値と数値解析による結果との比較を行っている。b/Hが小さい場合を除いて一致度は良好である。

5. 横断方向運動量輸送 植生帯境界における横断方向Reynolds応力は、植生帯・非植生帯間の運動量輸送を表しており、植生を有する河道設計においても重要な水理量である。図-4は動Reynolds応力 $-\bar{u}'v'$ を植生帯の影響を受けない地点での摩擦速度の自乗、 $u_{*0}^2 (= gHS_0)$ で無次元化し、b/H(非植生帯幅/水深)の関数として表している。図中、×印は数値解析値を表し、○印は実験値を示している。両者の一致は極めて良好である。Reynolds応力はb/Hの増加と共にb/H=5程度までは、線形的に増加し、b/H=6付近(Run 3)でピーク($-\bar{u}'v'/u_{*0}^2 = 3.8$)をとる。更にb/Hが増加すると、若干減少し、 $-\bar{u}'v'/u_{*0}^2 = 3$ 程度の一定値をとるようになる。この一定値は、非植生帯幅が十分に広く、渦列が干渉しない場合の1列の渦列による運動量交換率に対応している。又、Run 3で見られたReynolds応力の極大値は、2列の渦列が相互に干渉し、極めて安定した水

平組織渦構造が発生したことによっている。

参考文献

- 1) 灘岡和夫、八木宏、土木学会論文集、473号、pp.35-44、1993。
- 2) 池田駿介、空閑健、土木学会水工学論文集、40巻、pp.705-710、1996。

表-1 計算条件

実験番号	非植生層幅 b(cm)	片側植生層幅 Bs(cm)	$\bar{u}_\infty$ (cm)	水深 H(cm)	底面摩擦 $c_f (\times 10^{-3})$	抗力係数 C_D	河床勾配 $\times 10^{-3}$
Run 1	60	30	40.5	6	3.59	1.49	1.0
Run 2	50	35	39.8	6	3.59	1.49	1.0
Run 3	40	40	35.5	6	3.59	1.49	1.0
Run 4	30	45	31.7	6	3.59	1.49	1.0
Run 5	20	50	22.8	6	3.59	1.49	1.0
Run 6	10	55	17.6	6	3.59	1.49	1.0

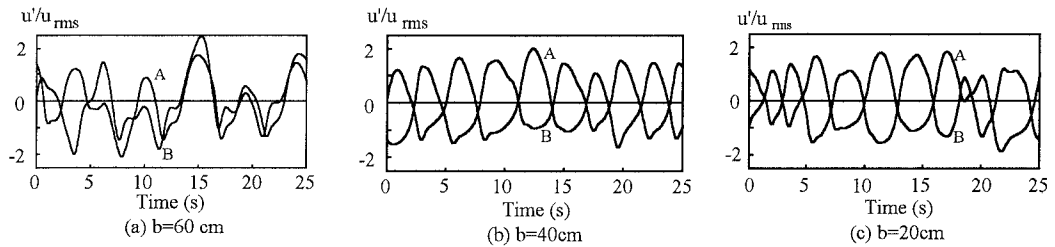


図-1 植生境界近傍流速変動の位相関係

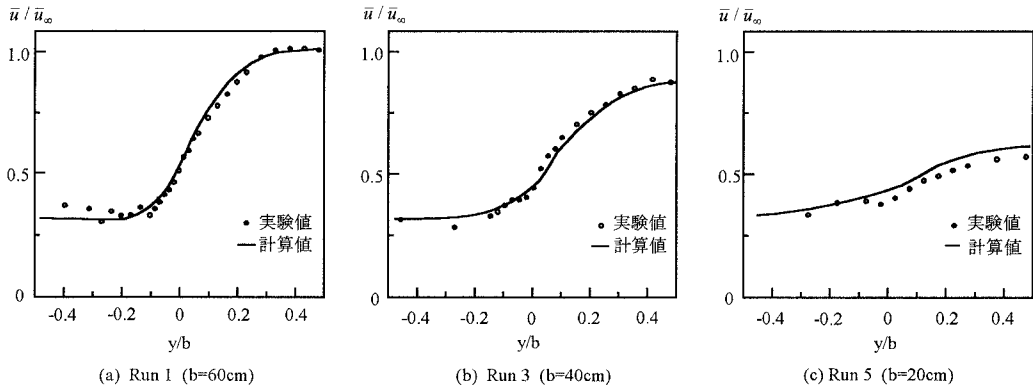


図-2 水深平均流速分布

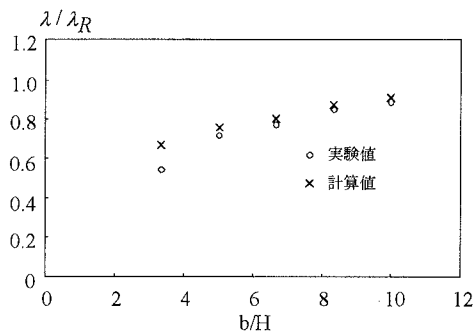


図-3 渦のスケールとb/H関係(λ_R は渦列干渉なしの場合の渦の波長)

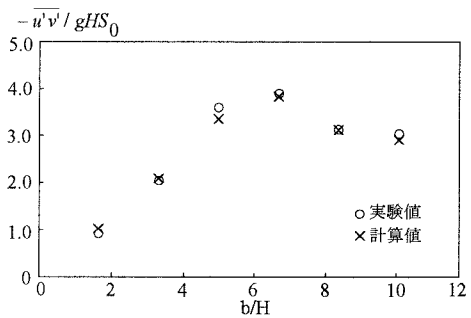


図-4 植生帯境界の運動量輸送