

落差下流の構造物周りにおける乱れエネルギー評価法

いであ株式会社
広島大学

正会員
正会員

○富山 遼
内田 龍彦

1. 研究背景と目的

河道内において堰などの段落ち流れでは段落ち前後での水位変動や、跳水の発生により、河床低下や洪水時には河岸侵食被害などが発生するため、その流れ場や乱れ特性を把握することは河川管理上重要である。段落ち流れにおける基礎的研究として、段落ち直下での流速分布、その回復過程¹⁾、フルード数、レイノルズ数との関連性²⁾に着目した研究は存在するが、落差が下流の流れ構造、乱れ特性に与える影響について明らかにした研究は少ない。

本研究では、落差が下流の乱れ構造に与える影響を落差下流に存在する構造物周りの乱れ成分を計測することで、落差の存在により、下流の流れ構造に影響を及ぼすことを落差の設置条件、乱れをもたらす範囲より明らかにする。

2. 実験方法

流れの中の落差が下流の流れ構造に与える影響を定量的な評価として、円柱前面での鉛直方向流速分布の計測を行った。図-1 で示すように段落ち流れを水路内で与えるために、塩ビ板(上部:0.17m, 下部:0.18m, 横:0.8m, 高さ:0.02m)を上流に設置する。下流に存在する直径 0.1m の木製円柱を水路中央部に設置し、前面より 0.01m 離れた水路中央の点で microADV を使用して任意の間隔で鉛直方向流速を計測する。落差が下流の流速分布に与える影響を検討するために、落差なしの条件と落差距離 l と落差高さ D としたときに、 l/D が 17.5~202.5 の範囲で任意の計測を行い、比較を行った。実験条件を表-1 に示す。等流は円柱を設置した際の河床勾配、水面勾配が一致するように設定し、疑似等流場を発生させた。microADV の計測間隔は 50Hz とし、計測時間は 1 分間行い、時間平均した値を採用値とする。

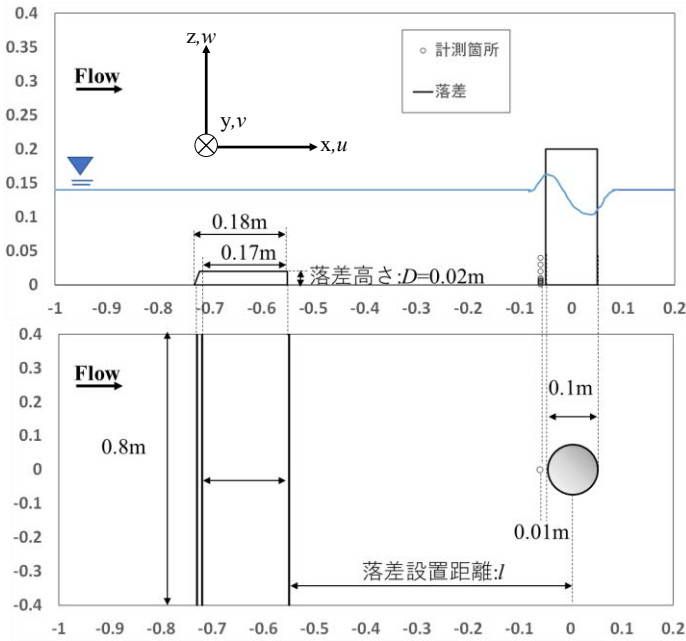


図-1 実験水路図

表-1 実験条件

Q (L/s)	河床勾配	平均水深(m)	流況	Fr	Re
25	1/590	0.153	等流	0.167	3.1×10^4

3. 実験結果

microADV により、計測した x 軸, y 軸, z 軸の流速成分 u, v, w から、変動成分を u', v', w' , その平均値を $\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}'$ とすると、乱れエネルギー $k (= 1/2(\bar{u}'^2 + \bar{v}'^2 + \bar{w}'^2))$ を算出する。図-2 に計測流速より、算出した各乱れ成分($\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}', \bar{u}'\bar{w}', k$) を断面平均流速 $\bar{U}$ で無次元化を行った乱れ強度分布を示す。横軸に z/h (z :底面からの距離, h :平均水深), 縦軸に各乱れ成分の無次元値を示す。各実験条件と円柱の存在しない等流状態の乱れ強度分布と比較を行った。まず始めに円柱の設置による底面付近の乱れ成分の変化として、落差なしの条件と比較すると、ほとんどの値が円柱がない状態よりも大きくなり、特に底面付近では、約 2 倍以上となっている。

キーワード 乱れエネルギー, 段落ち流れ, 馬蹄形渦, レイノルズ応力

連絡先 〒158-0094 東京都世田谷区玉川 3-14-5 いであ株式会社 社会基盤本部 TEL 06-6805-7667

しかし、レイノルズ応力 $(\overline{u'w'})$ に着目すると、落差設置箇所を境にレイノルズ応力は逆方向に作用している。これは底面付近において、せん断応力が主流速方向と同一方向に作用していることを表していることから、底面付近では馬蹄形渦が発生していることが確認出来る。底面付近では主流速成分で見ると、乱れは0.55mでは落差なしの時の約1.7倍となっている。このことから、落差を構造物に近づけることにより、落差より上部での流速は加速されるが、底面付近では落差と構造物が遠い条件下の方が乱れは強くなり、加速されると考えられる。 $l=1.55\text{m}$ では各乱れ成分が最大値を示した。この落差距離より大きくなると、乱れの縦断分布は落差なしの状態に近づく。

4. 乱れエネルギー最大値

図-3に各条件における乱れエネルギーの最大値を示す。落差距離が大きくなるほど、値は増加し、 $l/D=77.5(1.55\text{m})$ の位置で最大値をとっている。 $l/D=77.5$ を過ぎると、乱れ成分は減衰し、落差なしの状態($l/D=\infty$)に近づいていく。このように、落差距離を落差高さで無次元化を行い、乱れエネルギーの変動量を評価することにより、落差が下流の流れ構造に与える影響を定量的に評価することができる。

5. 結論

本研究では、落差が下流の流れにもたらす特性、落差が下流の構造物周りの三次元流れに及ぼす影響について議論を行った。計測した流速から、乱れ成分を算出し、鉛直方向に三次元での乱れ分布を示し、等流状態と比較を行った。その結果、落差を設置することにより、底面付近での三次元的な乱れが大きくなり、落差高さに対する設置距離において、乱れが著しく強化されるまでには境界値が存在することを示した。

参考文献

- 1) 渡辺 勝利, 朝位 孝二: 段落ち流れの組織構造と乱流特性との相互関係, 水工学論文集第65巻, p. I_961-I_966, 2020
- 2) Nakagawa, H., Nezu, I.: Experimental investigation on turbulent structure of backward facing step flow in open-channel flow, J. Hydr Res, Vol.25, No.1, pp.67-88, 1987.

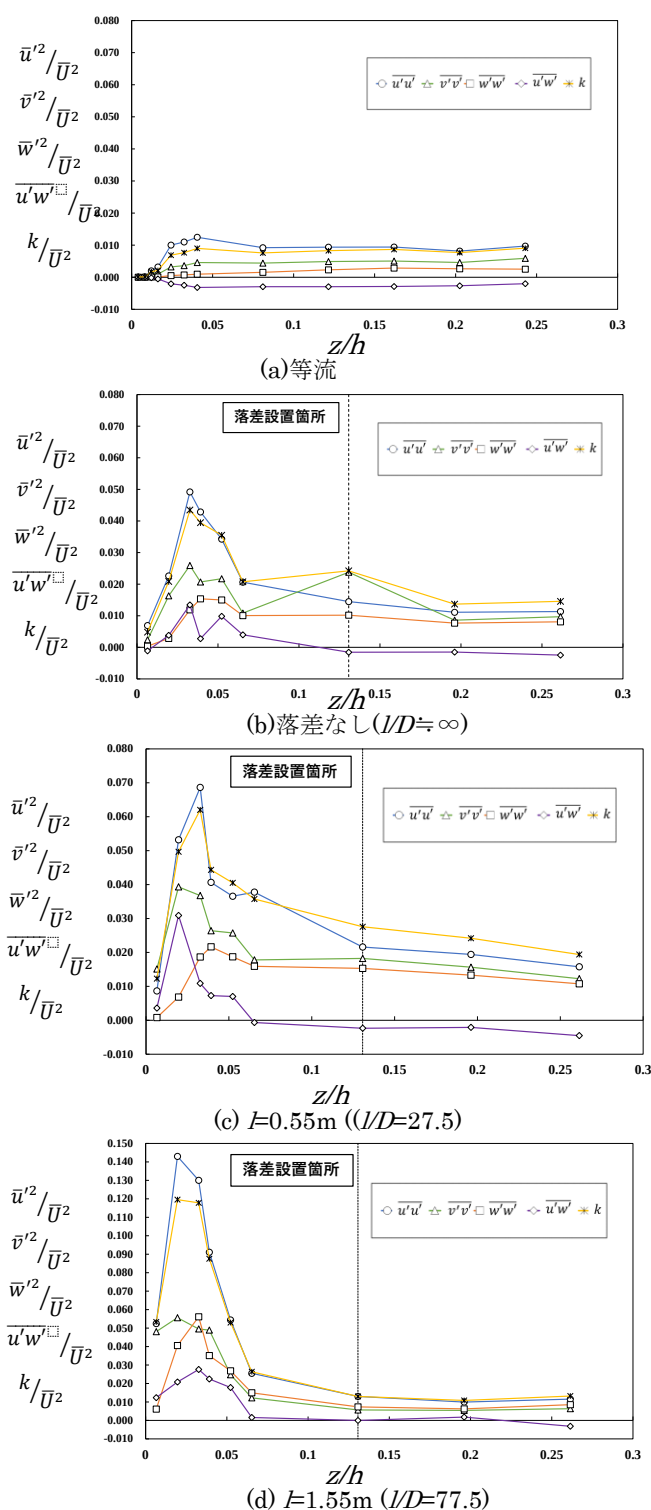


図-2 各条件における乱れ強度分布

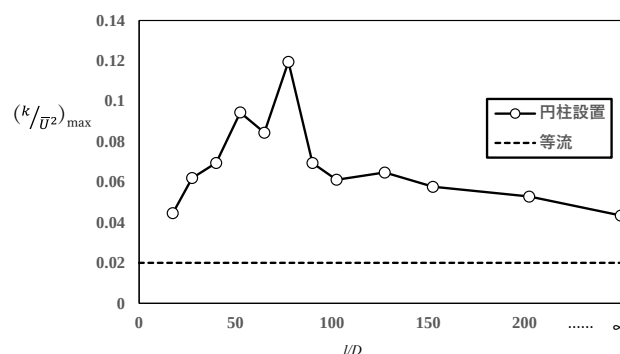


図-3 乱れエネルギー最大値分布