

II-351 波状底面上の開水路乱流の数値計算

九州大学 学生員○杉原裕司 九州大学 正 員 松永信博
水資源公団 正 員 黒田幸稔 九州大学 正 員 小松利光

1. はじめに

波状底面上の開水路乱流に $k-\varepsilon$ 乱流モデルを適用し、その特性を検討した。本計算では自由表面の取扱いが重要となるため、自由表面をもつ流れ場の解析手法として開発されたMAC法が適用されている。

2. 数値計算

二次元の開水路乱流場の基礎方程式として、連続の式、運動方程式、乱れエネルギー k の輸送方程式、エネルギー散逸率 ε の輸送方程式を用いた。紙面の都合上ここでは基礎式の記述を省略する。また、自由表面の計算は以下の式を用いて行った。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = v - u \frac{\partial h}{\partial x}$$

ここで、 h は自由表面形状関数である。

波状底面上の開水路乱流は、フルード数 Fr と $k\bar{h}$ の値とによって、in-phase flow, chutes & pools flow, out-phase flow の3つに分類される。ここで、 k は波状底面の波数、 $\bar{h}$ は平均水深であり、 Fr は $\bar{h}$ と流量で定義されている。図中の実線は out-phase flow と in-phase flow の境界であり、ポテンシャル理論より求められた関係 $Fr^2 = \tanh(k\bar{h}) / k\bar{h}$ である。一方、点線は経験的に求められた chutes & pools flow と out-phase flow の境界である。図中の黒丸 1, 2, 3 は本解析で対象とした水理条件を示している。

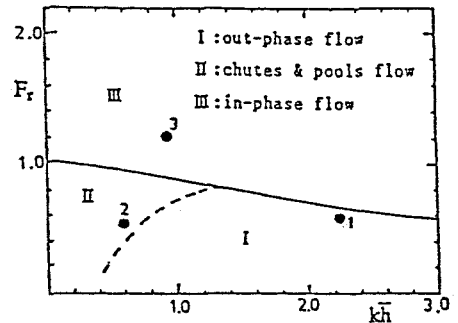


図-1 三種類の流れの形成領域

3. 計算結果及び考察

図-2(a)~(c)は、それぞれ図-1の1, 2, 3で与えられた水理条件のもとで解析された水面形と流速分布を示したものである。out-phase flowでは、底面と水面形とが逆位相の関係にあり底面の谷において流れが減速されるため境界層は厚くなり、峰で加速され流速が一様化し境界層は薄くなる。chutes & pools flowでは一波長内に常流と射流とが形成される。流速は峰の背後で減速され境界層が厚くなり、峰の上で流速が一様化し境界層が薄くなる。in-phase flowは水面形と底面がほぼ同位相であるため、他に比べ流速の鉛直分布や境界層の厚さにほとんど変化がない。

図-3(a)~(c)はレイノルズ応力の空間分布を示している。out-phase flowにおいては $z/h > 0.4$ において、流れ方向にレイノルズ応力がほとんど変化しない constant core region が形成されている。多少のずれはあるものの3タイプともその極大値を谷部の底面付近でとる傾向がある。また、chutes & pools flowでは峰の背後で射流から常流へと変化するため、水表面付近でレイノルズ応力に負の値が現れるのがわかる。

図-4(a)~(c)は乱れエネルギーの空間分布を示したものである。out-phase flowにおいては谷で極大値をとり、レイノルズ応力同様 $z/h > 0.4$ において流下方向に乱れエネルギーが変化しない領域が形成されているのがわかる。chutes & pools flowにおいては、射流から常流へと遷移する峰の背後において極大値をとり、谷部から上り斜面にかけての水表面付近で最小値をとることがわかる。in-phase flowでは下り斜面から谷部において極大値をとる傾向がある。

図-5(a)~(c)はエネルギー散逸率の空間分布を示したものである。レイノルズ応力の分布とエネルギー散逸率の分布特性は定性的に一致しており、乱れの生成の強い領域でエネルギー散逸も大きいことがわかる。

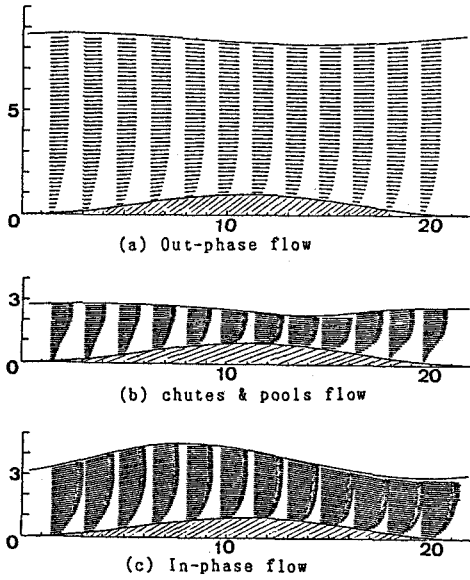


図-2 平均流速分布

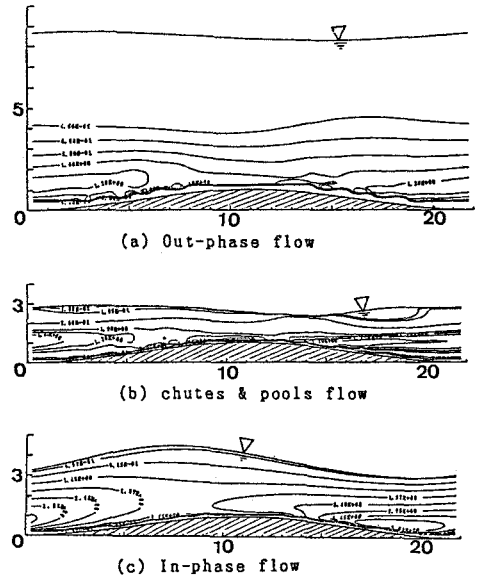


図-3 レイノルズ応力の分布

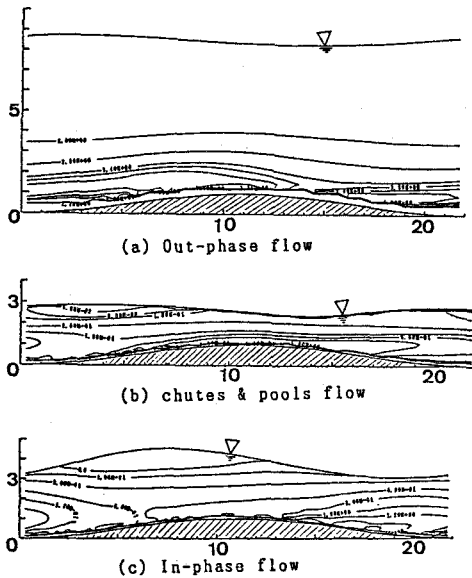


図-4 乱れエネルギーの分布

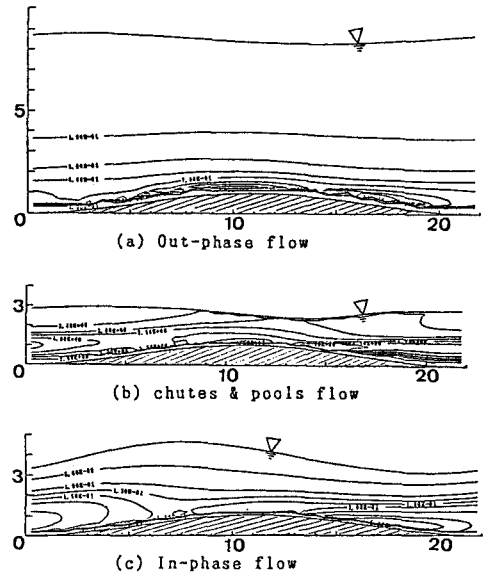


図-5 エネルギー散逸率の分布

波状底面上の開水路乱流を $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて数値計算したが比較的良好な結果が得られた。さらに、波状底面に直交する曲線座標系への座標変換を導入することで境界条件の取り扱いも簡単化でき、より厳密な結果が期待できるものと思われるが、これについては現在検討中である。

＜参考文献＞

- 1) Matsunaga, N., Namikawa, T. and Komatsu, T. :Open-channel flows over a sinusoidal bed, Proc. 5th Congress APD-IAHR.