

段落ち下流のもぐり流れと波状流れについて

西日本工業大学 学○横山 均
 西日本工業大学 正 石川 誠
 西日本工業大学 正 赤司 信義
 山口大学工学部 正 斎藤 隆

1. はじめに 図1は、ある程度の段落ち高さがある場合に観察される段落ち下流の流れの水面形状の概略を示したものである。図中のIより下流水深が大きい場合には、段落ち部に射流は現れず全断面常流になり、水面形は波状を呈する。下流水深がIより小さければ、段落ち上に射流が現れる。下流水深をIより小さくしていくと、波状水面の凹凸が大きくなり、ある下流水深(Ⅲ)で、波状水面が消失しもぐり流れに変化する。そして、下流水深がⅣより小さくなると、ベナコトラクタを持つ流れになる。逆に、下流水深をⅣより大きくしていくと、ある下流水深(Ⅱ)でもぐり流れから波状水面を持つ流れ(以下、波状流れと呼ぶ)に変化する。これまでのところ、波状流れからもぐり流れ、もしくは、もぐり流れから波状流れへの変流機構は、ほとんど明らかにされていない。

本研究は、この機構を検討する前段階として、波状流れともぐり流れの速度分布、圧力分布を実験的に調べると共に波状流れの最低水深についての検討を行ったものである。

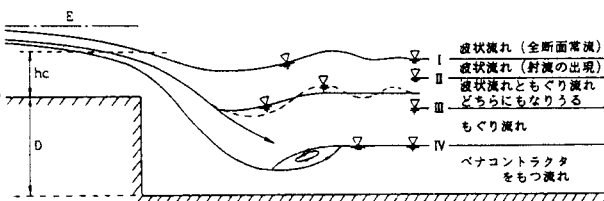


図1 段落ち下流の流れの概略

2. 実験装置と実験方法

実験装置は、幅 20 cm、全長 16.7 m の水路途中に段落ち(段落ち下流水路長 3.75 m)を設けた開水路である。実験は、段落ち高さ $D = 11, 22$ cm の場合について、流量、下流水深を種々変化させて行われた。流速はレーザー流速形で、ピエゾ水頭は静圧ピトー管で、水面形状はポイントゲージで測定された。

3. 実験結果とその検討

【流速分布及び等流速分布】 図2は、波状流れの流速分布及び等流速分布を示したものである。流れの主流はほぼ水表面流線に沿った流れになり、最大流速は、水表面付近に現れている。段落ち位置から最低水深位置付近までの間では最大流速は水面の低下に伴って増大し、水表面付近にポテンシャルコア的な流れの部分がみられる。又、剥離域は、段落ち下流のかなり広い範囲に渡って、底面付近に観察される。図3は、図2と同じ条件でもぐり流れにした場合の流速分布及び等流速分布を示したものである。主流は、下流水面下にもぐり込み、 $x = 32$ cm 付近(衝突点)で上下流に分流し、衝突点より上流の段落ち背面及びもぐり込み始端($x = 10.5$ cm)より下流の水表面付近に、逆流域を形成している。もぐり込み始端より上流の速度分布は波状流れの場合とほぼ同じになっている。

【等ピエゾ水頭分布】 図4は、図2、図3の場合の等ピエゾ水頭分布を示したものである。波状流れの場合を見ると、主流域でのピエゾ水頭の変化は大きい、剥離域ではその変化は小さく、特に、底面でのピエゾ水頭はほぼ一定になっている。又、段落ち背面のピエゾ水頭と同じ値を持つ位置で、水表面流線に変曲点が見られている。段落ち断面よりこの位置までの流れでは、水面形は上に凸で、遠心力の作用のため水面のピエゾ水頭は底面のピエゾ水頭より低くなっている。変曲点断面では、遠心力の消失のため静水圧分布になっている。変曲点より下流の水面形が下に凸になっている範囲では、下向きの遠心力の作用を生じて底面のピエゾ水頭は水面のピエゾ水頭よりも大きくなっている。底面のピエゾ水頭を一定とすると、変曲点の位置からの水面の変化分が遠心力による圧力の変化分に等しいと考えられる。次に、もぐり流れの結果を見てみると、やはり、水表面流線の変曲点断面では静水圧分布になっている。もぐり込み始端の下流では水面のピエゾ水頭は底面のピエゾ水頭よりも小さいことから、もぐり流れの流線は下に湾曲していると考えられる。

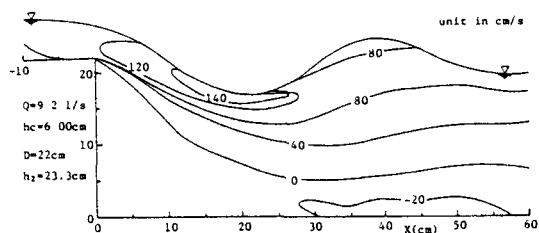


図2 波状流れの速度分布と等速度分布

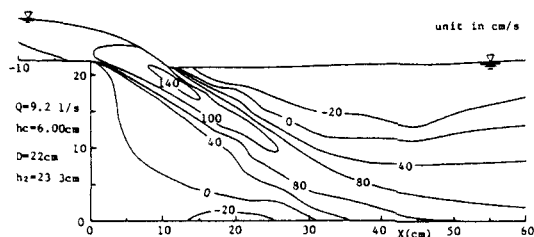


図3 もぐり流れの速度分布と等速度分布

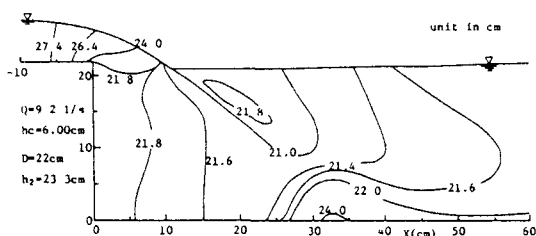
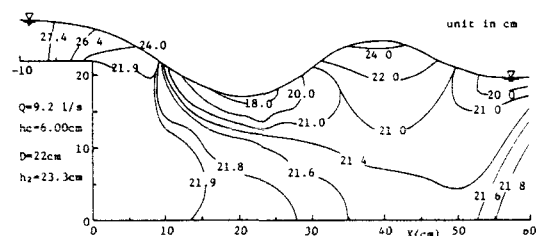


図4 波状流れともぐり流れの等ピエゾ水頭分布

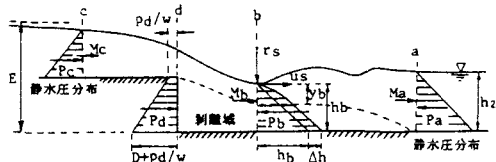


図5 波状流れの概略

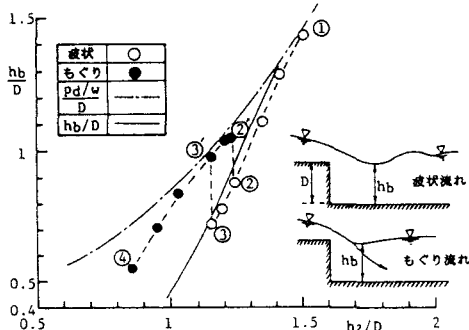


図6 段落ち下流の最低水深

【波状流れの最低水深 h_b の検討】 図5は、波状流れの概略を示したものである。b 断面の主流域の流れをポテンシャル流れとし、剝離域での運動量を無視し、剝離域でピエゾ水頭を一定とすれば、c-b 断面に運動量の定理(摩擦力を無視)を適用して、b 断面の水深 h_b を求めることができる。図中の p_d は段落ち背面上端の圧力で、a-c 断面に運動量の定理を適用して求められる¹⁾。又、図中の Δh は遠心力による圧力上昇量であり、 r_s は水表面の曲率半径を示している。図6は、もぐり流れ及び波状流れになる場合の最低水深を示したもので、破線は実験値の平均的傾向を示し、実線が波状流れの最低水深の計算結果を示している。又、図中の一点鎖線は、 p_d の計算結果を示している。最低水深の計算結果は、実験結果とほぼ合致している。

4. おわりに 段落ち流れが波状流れになる場合ともぐり流れになる場合の速度分布や圧力分布の違いを定性的に明らかにした。又、波状流れをポテンシャル流れと見なした取り扱いでも、波状流れの最低水深をほぼ評価できることが示された。今後、さらに波状流れやもぐり流れの特性を調べ、変流の機構や変流の区分条件を検討していきたい。参考文献 1) 段落ち部に射流が出現するときの水深評価について、年講43回。