

急勾配階段状水路における乱流構造

第一復建株式会社 正 員 ○成合功光
 熊本大学工学部 正 員 大本照憲
 熊本大学工学部 正 員 矢北孝一
 熊本大学大学院 学生員 長屋孝介

1. はじめに

急勾配階段状水路は、エネルギー減勢工として、雨水排水路等に利用されてきた。また近年では、空気連行流による景観効果や、水質浄化機能も有することから注目を集めている。しかし、その内部構造は不明確な点が多く、既存の研究^{1),2)}においても内部構造に着目したものはほとんどない。著者らは、これまで急勾配階段状水路の内部構造の解明を目的に実験を行い³⁾、目視観察により横断方向にウロコ状のパターンがあることを確認した。本研究では、そのパターンに着目して、1ステップ内における水面変動、圧力、流速を測定し、階段状水路の内部構造について実験的検討を試みた。

2. 模型水路および測定装置

実験に用いた模型水路は、勾配を 1/10 に設定した長さ 6.0m 幅 40cm の可変勾配水路であり、総アクリル製である。また、ステップ高は 1.0cm (ステップ長さは 10cm, 図-1 参照) とした。流速は境界層型ピトー管と差圧計を、水面変動には超音波水位計を、そして底面の圧力測定には円盤高さ 1.8mm、直径 4mm の小型圧力センサーを用いて測定した。流速、水面形および圧力の各変動量は、サンプリング周波数 100Hz、1 測点のデータ個数を 4096 に設定し、その平均値を採用している。

実験流量は、底面および水面にウロコ状のパターンが顕著に現れ、かつ、センサーでとらえることが可能であった 1.6 l/s を採用し、測定位置は、等流場が形成されたと考えられる上流より水平距離で 1.3m に設定した。実験条件を表-1 に示す。

流況については、H.Chanson⁴⁾らの研究により、階段を覆って流れるスキミングフローとステップ上に跳水が発生するナップフローの二つに大別できることが知られており、流況判別式が提案されている。(適応範囲: $D/L=0.2\sim1.25$) 本実験における流況は、流況判定式の適用範囲外 ($D/L=0.1$) となるが適用するとスキミングフローと判定される。

3. 実験結果と考察

図-2 に階段水路中央部の水面形を示す。図より、横断方向に規則的な波状性を有していることが認められる。この水面形は、既存の研究にみられる平坦な水面形ではなく、階段部で剥離せず、水路底面に沿って流下するシートフロー⁴⁾と呼ばれる流況に類似しており、H.Chanson のスキミングフローとは流況が異なることが予想される。

図-3、図-4 に水深の横断方向変化を示す。水深は $x=0.0\text{cm}$ において横断方向にほぼ一様であるが、流下するにしたがって顕著な波状性を示した後、 $x=4.0\text{cm}$ で再び一

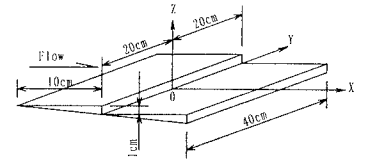


図-1 模型水路(階段部分)

表-1 実験条件

項 目	実験値
流量 $Q(\ell/s)$	1.6
限界水深 $h_c(\text{cm})$	1.18
水路勾配 I	1/10
フルード数 Fr	3.03
レイノルズ数 Re	4000
ステップ高 $D(\text{cm})$	1.0
ステップ長 $L(\text{cm})$	10.0

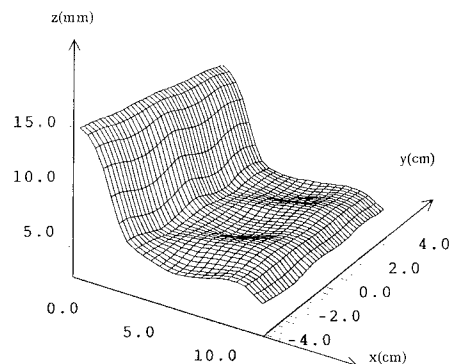


図-2 水面形

様な状態となり、さらに、 $x=6.0\text{cm}\sim 8.0\text{cm}$ 付近で、 $x=0.0\sim 4.0\text{cm}$ とは逆位相の波状性を強め、 $x=10.0\text{cm}$ で $x=0.0\text{cm}$ と同様な様に近い状態となっている。また、水深の横断方向における極値は、 $y=0.0\text{cm}$ 付近および $y=\pm 2.0\text{cm}$ の位置であることから、その波長は、約 4.0cm であることが推測される。再付着点付近の $x=2.5\text{cm}$ における各測点の平均水深と底面圧力（水頭）の同時計測結果を図-5に示す。これを見ると水深と底面圧力の横断分布はほぼ同位相であることがわかる。また、この地点では、動圧の影響により、静水圧分布が崩れていることが考えられる。なお、圧力水頭は水深の約3倍を示した。

図-6に、水深変動と圧力変動である h' , p' を示す。 h' は、平均水深と同位相の関係となり、水深の極大値における変動が大きいことがわかる。 p' は、平均圧力が極大値を示す位置では大きく変動するが、極小値を示す位置ではほぼ一様に近い。図-7に底面より高さ 2mm における平均流速の横断分布を示す。主流速の波状性が最も強く現れているのは、

$x=4.5\sim 6.5\text{cm}$ の位置である。図-7において波状性の表れた $x=4.5\sim 6.5\text{cm}$ について底面より高さ 2mm と 3mm での主流速の横断分布から、各高さの横断方向の平均流速との差をとり、その平均流速で無次元化したものを図-8に示す。無次元化された主流速の横断分布は、図-4の水面形と逆位相の関係にある。また、横断方向の波長は約 4.0cm である。最後に、図-9に底面より高さ 2mm において、乱れの特性を知る上で重要な乱れの強さを平均流速で無次元化した $\sqrt{u'^2}/\bar{u}$ を示す。これを見ると、横断方向に顕著な変化はみられず、 $\sqrt{u'^2}/\bar{u}$ は、 $0.005\sim 0.01$ の幅でばらついていることがわかった。

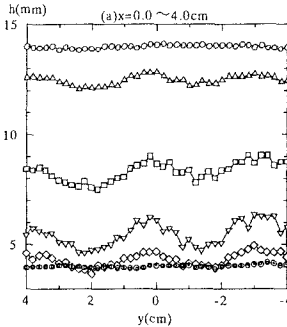


図-3 水深の横断方向変化(1)

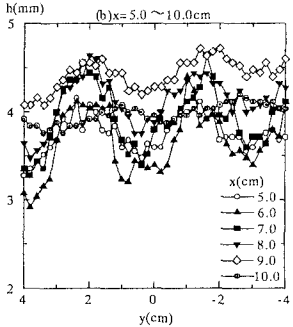


図-4 水深の横断方向変化(2)

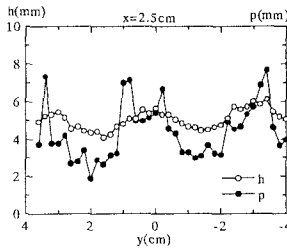


図-5 水深と圧力との関係

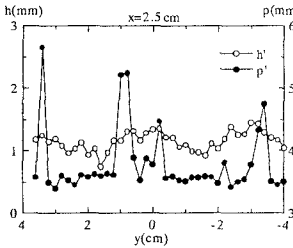


図-6 水深変動と圧力変動の関係

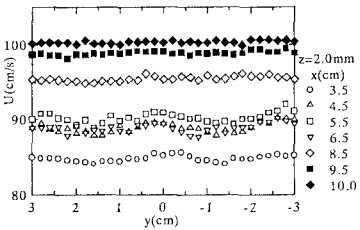


図-7 主流速の横断分布

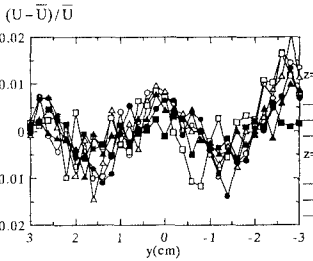


図-8 主流速の無次元化

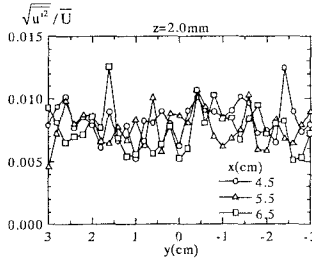


図-9 乱れの強さ

参考文献：1) H.Chanson : Hydraulic Design of Stepped Cascades, Channels, Weirs and Spillways, Pergamon, Australia, 1994 2) 橋本, 安田, 大津 : 階段状水路における流れの特性について, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, pp.660-661, 1998 3) 成合, 大本, 矢北, 長屋, 末松 : 急勾配階段状水路におけるエネルギー減勢について, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, pp.406-407, 1998 4) H.Chanson : Hydraulic of skimming flows over stepped channels and spillways, Jour.of.hydr.Res., Discussion:33(3), 414-419, 1995.